

Los impactos del cambio climático en Europa: — evaluación basada en indicadores

Informe conjunto de la AEMA, CCI y la OMS





Agencia Europea de Medio Ambiente



Los impactos del cambio climático en Europa: una evaluación basada en indicadores

Informe conjunto de la AEMA, el CCI y la OMS



Madrid 2011

Aviso legal

El contenido del presente informe no refleja necesariamente la opinión oficial de la Comisión Europea ni de otras instituciones de la Comunidad Europea. Ni la Agencia Europea de Medio Ambiente ni ninguna persona o empresa que actúe en su nombre es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en este informe.

Derechos de autor

© AEMA, Copenhage, 2008

Reproducción autorizada, con indicación de la fuente bibliográfica, salvo indicación de lo contrario.

Información acerca de la Unión Europea disponible en Internet. Se puede acceder a través de la página: www.europa.eu.

Revisión científica de la edición en español

Este trabajo ha sido realizado por TAU Consultora Ambiental por encargo de la Unidad de Información Ambiental Estratégica (Punto Focal Nacional de la AEMA), Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM).

Supervisión, coordinación y control (MARM):

Marta Muñoz, Cuesta

Coordinador (TAU Consultora Ambiental)

Laura Romero Vaquero

Título original en Inglés:

Impacts of Europe's changing climate
— 2008 indicator-based assessment

Equipo de revisión

Miguel Ángel Alario Franco, Catedrático de Química Inorgánica, Facultad de Ciencias Químicas, UCM; Manuel Álvarez-Arenas Bayo, TAU Consultora Ambiental; Francisco Díaz Pineda, Catedrático de Ecología, Facultad de Biológicas, UCM; Gabriel Gascó Guerrero, Departamento de Edafología, ETS de Ingenieros Agrónomos, UPM; José María Gascó Montes, Catedrático de Edafología y Climatología, ETS de Ingenieros Agrónomos, UPM; Eduardo de la Peña Torres, Instituto de Ciencias Agrarias. Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC; José Luis Sotelo Sancho, Catedrático de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, UCM

Publicada mediante un convenio con la AEMA y con la Oficina de Publicaciones de la CE (OPOCE) y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

Secretaría General Técnica: Alicia Camacho García. **Subdirector General de Información al ciudadano, Documentación y Publicaciones:** José Abellán Gómez. **Director del Centro de Publicaciones:** M^a Cristina García Fernández. **Jefa del Servicio de Producción y Edición:** M^a Dolores López Hernández.

Edita:

© Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Distribución y venta

Paseo de la Infanta Isabel, 1
Teléfono: 91 347 55 51 - 91 347 55 41
Fax: 91 347 57 22

Plaza San Juan de la Cruz, s/n
Teléfono: 91 597 60 81
Fax: 91 597 66 01

Tienda virtual: www.marm.es
e-mail: centropublicaciones@marm.es

Diseño de portada: AEMA
Fotografía de portada Guy Padfield,
<http://www.guypadfield.com>
Foto de la izquierda © Stockxpert
Foto de la derecha © AEMA

Impresión: DIN Impresores, S.L.

NIPO: 770-11-272-1

ISBN: 978-84-491-1125-9

Depósito Legal: M-40969-2011

Catálogo General de publicaciones oficiales:

<http://publicacionesoficiales.boe.es> (servicios en línea/oficina virtual/Publicaciones)

Datos técnicos: Formato: 21 x 29,7 cm. Caja de texto: 17,5 x 25 cm. Composición: dos columnas. Tipografía: Palatino a cuerpo 10. Encuadernación: Rustica. Papel: Interior en couché reciclado 100% de 115 g. Cubierta en cartulina gráfica de 300g. Tintas a 4/4.

Presentación de la edición española.

El gran reto ambiental y socioeconómico del siglo XXI sin ninguna duda es el cambio climático. Hacerle frente requiere conseguir una profunda transformación de los actuales modelos energéticos y productivos, un desafío que no puede conseguirse sin un compromiso global al más alto nivel. Es precisamente por ello por lo que el cambio climático ha sido el centro de las cumbres internacionales más importantes de los últimos años, y lo será en un futuro inmediato. De no alcanzar este compromiso, las consecuencias pueden ser dramáticas: situaciones meteorológicas extremas, cambios en las grandes circulaciones oceánicas, en nuestros sistemas económicos y de producción, falta de agua potable, cambios en las condiciones para la producción de alimentos, inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor.

En la actualidad existe un consenso científico generalizado, en torno a la idea de que nuestro modo de producción y consumo energético está generando una alteración climática global, que provocará, a su vez, serios impactos tanto sobre la tierra como sobre los sistemas socioeconómicos. El cambio climático se debe a causas naturales, pero también de manera significativa a la acción del hombre. Entre los gases de efecto invernadero el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano son liberados por la industria, la agricultura y la combustión de combustibles fósiles.

En la mayoría de los estudios científicos, y en este mismo informe, se predice la extinción de animales y plantas, ya que los hábitats cambiarán tan rápido que muchas especies no se podrán adaptar a tiempo. La Organización Mundial de la Salud, una de las organizaciones autoras de este Informe, ha advertido que la salud de millones de personas podría verse amenazada por el aumento de la malaria, la desnutrición y las enfermedades transmitidas por el agua. España, por su situación geográfica y características socioeconómicas, es muy vulnerable al cambio climático.

Aunque existen incertidumbres que no permiten cuantificar con la suficiente precisión los cambios del clima previstos, la información validada hasta ahora es suficiente para tomar medidas de forma inmediata, de acuerdo al denominado “principio de precaución”.

La transformación necesaria de los modelos económicos actuales en modelos bajos en carbono significa avanzar en el ahorro y la eficiencia energética; reducir el consumo de combustibles fósiles a favor de las fuentes de energía renovables; consolidar la implantación de nuevas tecnologías y promover la innovación en todos los procesos productivos. Con estos objetivos, la Unión Europea aprobó el Paquete de Energía y Cambio Climático, con unos compromisos claros para 2020, tanto de reducción de los Gases de Efecto Invernadero (-20%) como de uso de energías renovables (+20%). Estos objetivos se acompañan además de un compromiso de incremento de la eficiencia energética en un 20%. Estas medidas suponen también un marco de referencia que permite a las empresas europeas desarrollar sus estrategias de inversión a medio y largo plazo en los sectores afectados. En España estos sectores han tenido un importante desarrollo en los últimos años.

Desde el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (MARM) se formula la política nacional de lucha contra el cambio climático, de conformidad con la normativa internacional y comunitaria en la materia. Para afrontar un fenómeno tan diverso y complejo como el del cambio climático es indispensable la colaboración de los diversos actores sociales, administraciones, empresas, organizaciones, y ciudadanos con el fin de avanzar en la búsqueda de soluciones, tanto desde el punto de vista de la mitigación como desde el ámbito de la adaptación a las causas y efectos del cambio climático.

Los trabajos del MARM desde 2005 han dejado constancia de que los efectos del cambio climático en España son ya evidentes. Afectan a múltiples aspectos de nuestra biodiversidad, como los cambios en la

distribución de los pisos de vegetación o las alteraciones en determinados parámetros fenológicos de las especies (como la brotación, floración y caída de la hoja). Los modelos proyectan unas condiciones climáticas que, a lo largo del siglo XXI, sin duda van a suponer un factor de presión adicional para nuestra biodiversidad. Esta presión añadida puede incrementar las cifras -ya actualmente elevadas- de especies amenazadas en España.

Resulta, por tanto, prioritario profundizar en el conocimiento de los impactos y la vulnerabilidad al cambio climático de la biodiversidad española, de manera que nos permita diseñar e integrar medidas de adaptación en las políticas de planificación y gestión de la biodiversidad y adelantar, en la medida de lo posible, las acciones necesarias para su conservación en un mundo de clima cambiante.

El éxito de las posibles medidas de adaptación estará finalmente condicionado a que las causas que alteran el clima sean corregidas. El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), aprobado por el Consejo de Ministros en octubre de 2006, tiene como objetivo la integración de los resultados de las evaluaciones de impacto, vulnerabilidad y adaptación en la planificación y gestión de los sistemas ecológicos y los sectores socioeconómicos españoles. La biodiversidad y los bienes y servicios que aporta se han considerado y tratado, desde su aprobación, como un recurso de acción prioritaria, por su vital importancia intrínseca y su influencia en el buen estado de otros recursos y sectores.

Los datos hoy disponibles no son augurios de lo que va a suceder; proyectan situaciones futuras bajo unas premisas particulares sobre el clima y la dependencia y respuesta de las especies ante sus cambios. Para cada especie, las proyecciones pueden diferir notablemente entre modelos, lo que obliga a trabajar con altas dosis de incertidumbre.

Para la lucha y adaptación frente al cambio climático es imprescindible que los responsables políticos dispongan de un asesoramiento científico y técnico que permita dar respuestas y obtener datos para la elaboración de climatologías, el desarrollo de modelos y el establecimiento de escenarios climáticos. Este informe colabora para que las decisiones políticas se apoyen en la mejor base científica, en la información disponible más adecuada.

Jesús Huertas García
Director general de Calidad y Evaluación Ambiental
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

Índice

Agradecimientos	5
Introducción.....	9
Resumen ejecutivo	11
Introducción	20
1.1 Objetivo y alcance	20
1.2 Antecedentes y marco político	20
1.3 Descripción general.....	22
2 El sistema climático y las actividades humanas	23
2.1 Introducción.....	23
2.2 Los últimos 800.000 años	25
2.3 Los últimos 10.000 años y hasta hace 150 años	25
2.4 Los últimos 150 años	26
3 Impactos observados del cambio climático.....	28
4 Impactos del cambio climático: lo que nos deparará el futuro	31
4.1 Escenarios	31
4.2 Impactos previstos del cambio climático mundial	32
4.3 Los riesgos de un cambio climático no lineal	34
4.4 La limitación de los daños mediante la mitigación y la adaptación.....	34
5 Una evaluación basada en indicadores	37
5.1 Introducción.....	37
5.2 Atmósfera y clima	39
5.3 Criosfera	60
5.4 Biodiversidad marina y ecosistemas	76
5.5 Cantidad de agua, crecidas de los ríos y sequías	92
5.6 Calidad del agua dulce y biodiversidad	102
5.7 Ecosistemas terrestres y biodiversidad.....	111
5.8 Suelo	124
5.9 Agricultura y silvicultura	135
5.10 Salud humana	149
6 Adaptación al cambio climático.....	161
6.1 Europa obligada a adaptarse	161
6.2 La adaptación se produce a escala internacional, subnacional y local	163
6.3 De las estrategias europeas y nacionales a la ejecución regional y local.....	164
7 Consecuencias económicas del cambio climático	167
7.1 Introducción	167
7.2 Pérdidas directas de los desastres meteorológicos	169
7.3 Pérdidas normalizadas de los desastres provocados por las crecidas de los ríos	173
7.4 Zonas costeras	176

7.5	Abastecimiento público de agua y gestión del agua potable	178
7.6	Agricultura y silvicultura	179
7.7	Los bienes y servicios de los ecosistemas y la biodiversidad.....	182
7.8	Energía	183
7.9	Turismo y ocio.....	187
7.10	Salud	190
7.11	Los costes del cambio climático para la sociedad	192
8	Lagunas de información, incertidumbres y necesidades futuras	193
8.1	Introducción.....	193
8.2	Lagunas en las observaciones e incertidumbres en las proyecciones	195
8.3	Necesidades futuras	202
	Glosario.....	208
	Referencias	213

Agradecimientos

Coordinación del informe

André Jol, Pavel Šťastný (Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA)); Frank Raes, Carlo Lavallo (Cebtro Común de Investigación, Institute for Environment and Sustainability (JRC/IES)); Bettina Menne, Tanja Wolf (Organización Mundial de la Salud/Europa (WHO/Europe)).

Participantes por capítulos/sección

Resumen

Autor(es):
André Jol and Markus Erhard (EEA).

Colaboradores:
Tim Carter (Instituto Finés de Medio Ambiente (SYKE), Finlandia) y Rob Swart (ALTErra, Países Bajos).

Capítulo 1 *Introducción*

Autor(es):
André Jol (AEMA).

Capítulo 2 *El sistema climático y las actividades humanas*

Autor(es):
Frank Raes (CCI/IES) y Jelle van Minnen (Centro Temático Europeo sobre Aire y Cambio Climático (CTE/ACC)).

Capítulo 3 *Impactos observados del cambio climático*

Autor(es):
Frank Raes (CCI/IES); Jelle van Minnen (CTE/ACC) y Rob Swart (ALTErra).

Colaboradores:
Cynthia Rozenzweig (National Aeronautics and Space Administration/Goddard Institute for Space Studies (NASA), EEUU).

Capítulo 4 *Impactos del cambio climático: lo que nos deparará el futuro*

Autor(es):
Frank Raes (CCI/IES); Jelle van Minnen (CTE/ACC) y Rob Swart (ALTErra).

Capítulo 5 *Una evaluación basada en indicadores*

Sección 5.1 *Introducción*

Autor(es):
André Jol (EEA).

Sección 5.2 *Atmósfera y clima*

Autor(es):
Jelle van Minnen (CTE/ACC); Pavel Šťastný (AEMA) and Rita van Dingenen (CCI/IES).

Colaboradores:
Phil Jones (Climate Research Unit — University of East Anglia (CRU-UEA), Reino Unido); Albert Klein Tank, Gerard van der Schier (Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), Países Bajos); Roland Hiederer (CCI/IES); Dick Dee (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (CEMPM)); Ricardo Fernandez (AEMA).

Sección 5.3 *Cryosphere*

Autor(es):
Thomas Voigt (CTE/ACC) y Gunnar Sander (AEMA).

Contributors:
Michael Zemp, Wilfried Häberli (World Glacier Monitoring Service (WGMS), Suiza); Jack Kohler, Sebastian Gerland, Cecilie von Quillfeldt (Instituto Polar Noruego (NPI), Norway); Tim Carter (SYKE); Dorthe Dahl-Jensen (Universidad de Copenhagen (KU), Dinamarca); Andreas Ahlstrøm (Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), Dinamarca); Konrad Steffen (Cooperative Institut for Research in Environmental Sciences (IRES), EEUU); Christian Haas (University of Alberta (U of A), Canada); Michael Karcher (Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), Alemania); Stephan Gruber, Jeanette Nötzli (Universidad de Zürich (UZH), Suiza); Daniel Vonder Mühll (Instituto Federal Suizo de Tecnología (ETH), Suiza); Felix Keller (European Tourism Institute at the Academia Engiadina (ETI), Suiza).

Sección 5.4 *Biodiversidad marina y ecosistemas*

Autor(es):
Trine Christiansen (AEMA) y Thomas Voigt (CTE/ACC).

Colaboradores:

Gilles Larnicol, Stephanie Guinehut (Collecte Localisation Satellites (CLS) France); Giovanni Coppini, Nadia Pinardi (Centro Temático Europeo sobre Agua (CTE/W)); Peter Wadhams (Universidad de Cambridge, Reino Unido); Salvatore Marullo (Agencia Nacional Italiana para nuevas tecnologías, energía y medio ambiente (ENEA), Italia); Peter Loewe (Agencia Marítima e Hidrográfica Federal (BSH), Alemania); Martin Edwards, David Johns (Sir Alistar Hardy Foundation for Ocean Science (SAHFOS), Reino Unido); Keith Brander (International Council for Exploration of the Sea (ICES), Dinamarca); Mark Dowell, Nicolas Hoepffner (CCI/IES); Stefan Rahmstorf (Instituto Postdam para la Investigación sobre los Impactos del Clima (PIK), Alemania); Andreas Groh, Karin Novotny, Reinhard Dietrich (Universidad de Tecnología de Dresde (TUD), Alemania); Eva Gelabert (AEMA).

Sección 5.5 *Water quantity, river floods and droughts*

Autor(es):

Luc Feyen (CCI/IES) and Peter Kristensen (AEMA).

Colaboradores:

Katalin Bódis (CCI/IES).

Sección 5.6 *Calidad del agua dulce y biodiversidad*

Autor(es):

Peter Kristensen (AEMA).

Colaboradores:

Peeter Nöges (CCI/IES); Heleen de Wit, Anne Lyche Solheim (CTE/W); Rick Battarbee (Environmental Change Research Centre (ECRC), Reino Unido).

Sección 5.7 *Ecosistemas terrestres y biodiversidad*

Autor(es):

Jane Feehan (AEMA); Mike Harley (AEA-Technology (AEA-T), Reino Unido) y Jelle van Minnen (CTE/ACC).

Colaboradores:

Richard Gregory (Royal Society for the Protection of Birds (RSPB), Reino Unido); Lawrence Jones-Walters, Ana Nieto (European Centre for Nature Conservation (ECNC), Países Bajos); Michel Bakkenes, Rob Alkemade (Agencia de los Países Bajos de Evaluación Ambiental (PBL), Países Bajos); Annette Menzel (Universidad Técnica de Munich (TUM), Alemania); Arnold van Vliet (Universidad de Wageningen y Centro de Investigación (WUR), Países Bajos); Tim Sparks (Centre for Ecology & Hydrology (CEH), Reino Unido); Josef Settele (Centro Helmholtz

de Investigación sobre Medio Ambiente (UFZ), Alemania); Chris Both (Universidad de Groningen, Países Bajos); Pamela Berry (Universidad de Oxford, Reino Unido); Nikki Hodgson (AEA-T).

Sección 5.8 *Suelo*

Autor(es):

Arwyn Jones, Luca Montanarella, Vladimir Stolbovoy (CCI/IES); Anna-Rita Gentile (AEMA).

Colaboradores:

Roland Hiederer, Ezio Rusco, Ciro Gardi, Hannes Reuter, Brechje Marechal (CCI/IES); Bob Jones (Universidad de Cranfield, Reino Unido); Jacqueline McGlade, Franz Dafner, Ronan Uhel (AEMA).

Sección 5.9 *Agricultura y silvicultura*

Autor(es):

Carlo Lavallo, Fabio Micale, Catalin Lazar, Costanza Conte, Giampiero Genovese, Andrea Camia, Tracy Durrant Houston, Giuseppe Amatulli, Roland Hiederer (CCI/IES).

Colaboradores:

Ole Bøssing Christensen (Instituto Danés de Meteorología (DMI), Dinamarca); Elena Cebrián Calvo (AEMA); Simone Orlandini (Universidad de Florence, Italia); Jørgen E. Olesen (Instituto Danés de Ciencias Agrícolas (DIAS), Dinamarca).

Sección 5.10 *Salud humana*

Autor(es):

Bettina Menne (OMS/Europa).

Colaboradores:

Sari Kovats (London School of Hygiene and Tropical Medicine (LSHTM), Reino Unido); Dorota Jarosinska (AEMA); Tanja Wolf (WHO/Europa); Jan Semenza (European Centre for Disease Prevention (ECDC)); Renauld Lancelot (Centro para la Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD), Francia); Guy Hendrickx (Avia GIS, Bélgica).

Capítulo 6 *Adaptation to climate change*

Autor(es):

Stéphane Isoard (EEA) y Rob Swart (ALTERRA).

Colaboradores:

André Jol (EEA); Tim Carter, Hanna Mela (SYKE); Laurens Bouwer (Instituto para Estudios Ambientales;

Universidad de Amsterdam (IVM), the Netherlands); Jelle van Minnen (CTE/ACC).

Capítulo 7 *Consecuencias económicas del cambio climático*

Autor(es):

Stéphane Isoard (AEMA); Paul Watkiss (Paul Watkiss Associates, Reino Unido); Thomas Voigt (CTE/ACC), José Barredo (CCI/IES); Peter Kristensen (AEMA); Bettina Menne (OMS/Europa).

Colaboradores:

André Jol, Etem Karakaya, Hans Vos (AEMA); Karin Zaunberger (Comisión Europea Dirección General Medio Ambiente (CE, DG ENV)); Maria Fuentes (Comisión Europea DG Agricultura (EC, DG AGRI)); Luc Feyen, Katalin Bódis (CCI/IES); Juan Carlos Ciscar (Centro Común de Investigación, Institute for Prospective Technological Studies (CCI/IPTS)); Nils Roar Sælthun (Universidad de Oslo (UiO), Noruega); Laurens Bouwer (IVM); Petra Löw, Angelika Wirtz (Munich RE Group, Alemania); Sandrine Noël (Federación Europea de Empresas Aseguradoras y Reaseguradoras (CEA), Francia); Robert Nicholls (Universidad de Southampton); Ana Iglesias (Universidad Politécnica de Madrid); Bas Amelung (Universidad de Maastricht).

Chapter 8 *Lagunas de información, incertidumbres y necesidades futuras*

Autor(es):

Markus Erhard (AEMA).

Contributors:

André Jol (AEMA); Tim Carter (SYKE); Rob Swart (ALTERRA); Jelle van Minnen (CTE/ACC).

Redacción

Peter Saunders, Bart Ullstein (bajo contrato con NERI); Rob Swart (ALTERRA).

Asistencia de apoyo en el informe

Mette Palitzsch Lund, Mona Mandrup Poulsen, Pia Schmidt (AEMA).

Miembros del Grupo Asesor

André Berger (Comité Científico de la AEMA; Universidad Católica de Lovaina, Bélgica); Peter Wadhams (Comité Científico de la AEMA; Universidad de Cambridge, Reino Unido); László Somlyódy (Comité Científico de la AEMA, Universidad de tecnología y Económicas de Budapest, Hungría); Jakub Gibek (Comisión Europea Dirección

General Medio Ambiente(CE, DG ENV)); Karin Zaunberger (Comisión Europea Dirección General Medio Ambiente(CE, DG ENV)); Claus Bruening (EC, DG RTD) (Comisión Europea Dirección General de Investigación (CE, DG RTD)); Maria Fuentes (Comisión Europea Dirección General Agricultura (CE, DG AGRI)); Antonio Navarra (Instituto Nacional de Geofísica y Vulcanología (INGV, Italia)); Earl Saxon (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN)); Tim Carter (Instituto Finés de Medio Ambiente (SYKE), Finlandia)); Zbigniew Kundzewicz (Centro de Investigación para el Medio Ambiente Rural y Forestal (RCAFE-PAS), Poland); Andrzej Kedziora (Centro de Investigación para el Medio Ambiente Rural y Forestal (RCAFE-PAS), Poland); Steven Wade (HR Wallingford, Reino Unido); Chris Hewitt (Hadley Centre, Reino Unido); Ole Bøssing Christensen (Instituto Danés de Meteorología (DMI, Dinamarca)); Rick Batterbee (University College London, Reino Unido); Josef Settele (Centro Helmholtz de Investigación sobre Medio Ambiente (UFZ, Alemania)); Lars-Otto Reiersen (Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Noruega); Manfred Klöppel (Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (CEPMPM)); Dick Dee (Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (CEPMPM)); Wolfgang Cramer (Instituto Potsdam para la Investigación sobre los Impactos del Clima (PIK), Alemania)); Katrin Vohland (Instituto Potsdam para la Investigación sobre los Impactos del Clima (PIK), Alemania)); Albert Klein Tank (Instituto Real sobre Meteorología (KNMI, Países Bajos)); Patrice Miran (Plan Bleu, Francia); Chantal van Ham (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), Oficina Regional para Europa).

Revisión de los Puntos Focales Nacionales y Puntos de Contacto Principales sobre cambio climático

Johan Brouwers (Agencia Flamenca de Medio Ambiente (VMM), Bélgica), PFN; Detelina Petrova (Agencia Ejecutiva Búlgara de Medio Ambiente (IAOS), Bulgaria), PFN; Christina Pykonen (Agencia Federal de Medio Ambiente (UBA), Alemania), PFN; Andries Hof (Agencia de los Países Bajos de Evaluación Ambiental (PBL), Países Bajos), PFN; Johnny Auestad (Autoridad Noruega de Control de la Contaminación (SFT), Noruega), PFN; Domenico Gaudioso (Agencia Italiana de Protección del Medio Ambiente y Servicios Técnicos (APAT), Italia), PFN; Concepción Martínez Lope (Oficina Española de Cambio Climático, España) PFN; Mattias Lundblad (Agencia Sueca de Protección el Medio Ambiente, Suecia) PFN; Neil Maycock (Defra Environmental Statistics & Indicators Division, Reino Unido), PFN.

Otra revisión de expertos

Johan Bogaert (Administración Flamenca de Medio Ambiente (VMM), Bélgica); Paul Ruysenaars (Centro

Temático Europeo sobre Aire y Cambio Climático (CTE/ACC)); Frank de Leeuw (Centro Temático Europeo sobre Aire y Cambio Climático (CTE/ACC)); Peter Part (Centro Común de Investigación, Institute for Environment and Sustainability (JRC/IES)); Sandrine Noël (Federación Europea de Empresas Aseguradoras y Reaseguradoras (CEA/EIRF)); Lorenzo Ciccarese (Agencia Italiana de Protección del Medio Ambiente y Servicios Técnicos (APAT), Italia).

Introducción

El cambio climático y los impactos asociados obligan a una actuación inmediata que contribuya al mantenimiento de la economía y el medio ambiente, tanto en Europa como en el resto del planeta. El presente informe basado en indicadores analiza el incremento que están registrando las temperaturas, la elevación constatada en el nivel del mar, la fusión de los glaciares, de las capas de hielo y del hielo marino, las variaciones en el régimen de precipitaciones y el aumento de la intensidad y la frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos en gran número de regiones. El informe destaca asimismo el conjunto de consecuencias asociadas, incluyendo el mayor riesgo de inundaciones y de sequías, la pérdida de biodiversidad (marina, de agua dulce o terrestre), las amenazas para la salud humana y la repercusión sobre sectores económicos como el energético, el transporte, silvícola, agrícola o el turismo.

Ya estamos experimentando un aumento de la temperatura media global de casi 0,8°C por encima de los niveles preindustriales, mayor incluso en Europa y en latitudes septentrionales. Urge la necesidad de estabilizar el aumento de la temperatura por debajo de los 2°C con respecto a los niveles preindustriales si lo que pretendemos es evitar impactos profundos e irreversibles sobre el tejido social y los ecosistemas. Para ello, es preciso reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a escala mundial y adoptar medidas orientadas hacia la adaptación al cambio climático.

Durante los últimos diez años, la Unión Europea ha abordado el cambio climático a través de acuerdos internacionales que se inscriben dentro del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Ahora es preciso multiplicar el desarrollo y la transferencia de tecnologías basadas en las energías renovables, invertir en la eficiencia de los recursos y energías empleadas, emprender actuaciones y estrategias de adaptación dirigidas a la reducción de la deforestación, a potenciar la capacidad de recuperación de los ecosistemas y a reducir los efectos sobre la salud humana. El régimen global que se aplique a partir de 2012, que deseablemente debería ser acordado para finales de 2009, deberá tener en cuenta todos estos elementos.

Para abordar el problema del cambio climático es necesario que un gran número de instituciones competentes cooperen en el logro de un objetivo compartido. Este informe ha sido elaborado conjuntamente por la Agencia Europea de Medio Ambiente (incluidos sus Centros Temáticos Europeos),

el Centro Común de Investigación (Joint Research Centre) de la Comisión Europea y la Oficina Regional para Europa de la Organización Mundial de la Salud. El informe se basa en los resultados de diferentes investigaciones desarrolladas recientemente en el ámbito nacional y comunitario, en la cuarta evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y en el informe «Arctic Climate Impact Assessment» (Evaluación del Impacto Climático en el Ártico). Consideramos que el presente informe constituye un ejemplo destacable de colaboración a nivel interinstitucional.

En el informe se hace hincapié en la necesidad de multiplicar las medidas dirigidas a frenar la pérdida de biodiversidad y a mantener la capacidad de recuperación los ecosistemas dada su función esencial en tanto que reguladores del sistema climático mundial. Mejorar la coherencia ecológica y la interconexión de la red Natura 2000 de la UE es esencial para la adaptación al cambio climático y supervivencia a largo plazo de especies y hábitats.

El cambio climático constituye asimismo una incipiente y significativa amenaza para la salud pública y altera los presupuestos sobre los que debe enfocarse la protección de las poblaciones vulnerables. La elevada mortalidad registrada durante la ola de calor de 2003 puso de relieve la necesidad de elaborar estrategias de adaptación; como los planes de actuación frente a estos episodios. Se prevé un aumento de diversas enfermedades transmitidas por el agua, a través de los alimentos o por otros vectores. Controlar la eventual propagación de estas enfermedades dependerá en gran medida de su detección a tiempo y de la instauración de medidas preventivas.

En el informe se hace hincapié en la variedad de regiones y sectores económicos europeos vulnerables. Entre los sectores esenciales que deberán adaptarse a través de la integración en el marco de las políticas sectoriales europeas y (sub)nacionales, cabe mencionar los de suministro energético, salud, gestión de los recursos hídricos, agricultura, turismo y transporte. El informe demuestra la existencia de falta de información en materia de buenas prácticas relacionadas con la adaptación y sus costes.

En el informe se señala la necesidad de que los países y las organizaciones internacionales afinen los mecanismos internacionales de seguimiento y de información. La creación de un 'Centro de Intercambio europeo sobre impactos del cambio

climático, vulnerabilidad y adaptación' facilitará la transmisión de información a los usuarios de toda Europa. El Centro contará con el respaldo del Sistema de Información ambiental (Shared Environmental Information System, SEIS) de la UE, con los servicios que en materia ambiental y de seguridad brindarán el programa Copérnico de la UE sobre vigilancia global y con el sistema de información sobre el clima, el medio ambiente y la salud (*Climate, Environment and Health Information System*, CEHAIS) de la OMS. Nuestros institutos se han comprometido a colaborar en el desarrollo de estos sistemas y servicios.

El informe se ha elaborado coincidiendo con los debates seguidos en la Comisión Europea para su Libro Verde sobre la adaptación (2007) sobre los principios en los que habrá de inspirarse una estrategia europea de adaptación. En su Libro Blanco sobre la adaptación al cambio climático (cuya publicación está prevista para finales de 2008) se han formulado acciones políticas más concretas. Este informe constituirá una valiosa herramienta durante la fase de ejecución del Libro Blanco y mientras los diversos Estados miembros elaboran sus planes nacionales de adaptación. Nuestras tres organizaciones se han comprometido a proporcionar los datos e informaciones necesarias para respaldar las iniciativas emprendidas por la sociedad europea y por sus representantes políticos, orientadas a formular y adoptar medidas de adaptación y de mitigación.

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todos los miembros de la AEMA y de sus Centros Temáticos Europeos de Aire y Cambio Climático, del Agua y sobre la Diversidad Biológica, así como a los miembros del CCI y de la oficina de la OMS para Europa por su diligencia en la conclusión del informe, así como a los numerosos expertos externos que han brindado su colaboración. Gracias en particular al Grupo Asesor externo, integrado por representantes de diversos programas fundamentales de investigación nacionales y de la UE, varias organizaciones internacionales, la Comisión Europea y al Comité Científico de la AEMA por su permanente apoyo al proyecto y por su valiosa labor de asesoramiento.

Profesora Jacqueline McGlade, Directora Ejecutiva,
Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhague

Profesor Leen Hordijk, Director, Instituto para el
Medio Ambiente y la Sostenibilidad, Centro Común de
Investigación, Ispra

Doctor Nedret Emiroglu, Director de Programas
de Salud, Oficina Regional para Europa de la OMS,
Copenhague

Resumen ejecutivo

Introducción

Antecedentes y objetivo

Este informe constituye una actualización y una ampliación del informe publicado por la AEMA en 2004 bajo el título Impactos del cambio climático en Europa. Desde 2004 se ha avanzado considerablemente en el seguimiento y la evaluación de los impactos del cambio climático en Europa. Con este informe se quiere aportar nueva información sobre el cambio climático y sus impactos, tanto pasados como previstos, a través de una serie de indicadores para identificar los sectores y las regiones más vulnerables al cambio climático y en los que la necesidad de adaptación es especialmente evidente, así como subrayar la necesidad de mejorar el seguimiento y reducir las incertidumbres inherentes a la modelización del clima y sus impactos. El informe ha sido elaborado conjuntamente por la AEMA, el CCI y la Oficina Regional para Europa de la OMS, lo que ha permitido ampliar la cobertura de los indicadores sirviéndose de los mejores conocimientos disponibles.

Avances científicos y políticos

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), ha reafirmado y consolidado en su Cuarto Informe de Evaluación (2007) una serie de conclusiones científicas previas en relación con aspectos esenciales del cambio climático. El aumento de los esfuerzos de seguimiento e investigación ha permitido la ampliación de los conocimientos en materia de impactos del cambio climático y vulnerabilidad. Las investigaciones desarrolladas en Europa sobre los impactos y la vulnerabilidad, en el marco de programas nacionales y comunitarios, han experimentado un notable impulso y han contribuido decisivamente a las evaluaciones internacionales del IPCC, al informe «*Arctic Climate Impact Assessment*» (Evaluación del Impacto Climático en el Ártico) de 2004, al informe «*Global Outlook for Ice and Snow*» (Perspectiva Mundial sobre la Nieve y el Hielo) publicado por el PNUMA en 2007 y a los informes de la OMS.

En la conferencia del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) celebrada en Bali en 2007 se constató que el número de países que reconocen la necesidad de reaccionar urgentemente y con eficacia al cambio climático mediante estrategias de adaptación y mitigación es mayor que nunca. La UE ha propuesto como objetivo limitar el aumento máximo de la temperatura mundial a 2°C sobre los niveles preindustriales y ha formulado una serie de iniciativas y objetivos en materia de mitigación hasta 2020. A finales de 2009 se espera contar con un régimen post-Kioto consensuado que considere la adaptación y la mitigación. Se ha avanzado notablemente en la ejecución del programa de trabajo del CMNUCC relativo a los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio

climático, elaborado con objeto de contribuir a mejorar los conocimientos disponibles a nivel nacional sobre los impactos del cambio climático.

Este informe

La parte principal de este informe resume las tendencias pasadas y las proyecciones futuras para aproximadamente 40 indicadores relevantes (frente a los 22 del informe de 2004). Dichos indicadores abarcan desde la atmósfera y el clima hasta la criosfera, los ecosistemas marinos, los ecosistemas terrestres y la biodiversidad, la agricultura y la silvicultura, el suelo, el agua en lo que se refiere a la cantidad (incluidas las inundaciones y las sequías), la calidad y la ecología de agua dulce y por último la salud humana. El informe estudia asimismo la adaptación y la vertiente económica de los impactos del cambio climático y de las políticas y estrategias de adaptación, así como la información disponible y las incertidumbres inherentes.

Mensajes clave

La atmósfera y el clima

Observaciones recientes confirman que la **temperatura media del planeta** ha aumentado 0,8°C en comparación con la era preindustrial para la superficie terrestre y la oceánica y un 1,0°C para la superficie terrestre. En Europa, el calentamiento ha superado el promedio mundial (1,0 y 1,2°C respectivamente), sobre todo en las zonas meridional-occidental y septentrional-oriental, así como en las zonas montañosas. Las proyecciones indican **un incremento aún mayor de las temperaturas para Europa**, cifrado en torno a 1,0 y 5,5°C para finales de este siglo, que a su vez supera el calentamiento previsto para la tierra en su conjunto (1,8-4,0°C). Alcanzar el objetivo de la UE, es decir, un calentamiento inferior a 2°C (respecto a los niveles preindustriales) dependerá de que la política climática internacional aplicada globalmente a las reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero resulte eficaz. En los últimos 50 años han aumentado la frecuencia y la intensidad de las olas de **calor extremo** y han disminuido las olas de **frío extremo**, y se prevé el mantenimiento de esta tendencia.

Los cambios en las **precipitaciones** reflejan mayores variaciones espaciales a lo largo de todo el continente. Los cambios en las precipitaciones anuales ya están agravando las diferencias entre una zona septentrional húmeda (un aumento entre 10 - 40% durante el siglo XX) y una meridional seca (un descenso de hasta el 20% en determinadas zonas de Europa meridional). La intensidad de las **precipitaciones extremas**, como los episodios de lluvias intensas, ha venido aumentando durante los últimos 50 años y se prevé que la frecuencia de dichos episodios aumente. Se prevén asimismo periodos de sequía más

prolongados y frecuentes, especialmente en Europa meridional.

Aún no se ha apreciado ninguna tendencia definida en la frecuencia y la intensidad de las **tormentas**, si bien se prevé que ganen en intensidad las tormentas fuertes, aun cuando se produzcan con una frecuencia ligeramente menor. Las incertidumbres respecto a las precipitaciones anuales previstas y la frecuencia y la intensidad de los fenómenos extremos son mayores que las incertidumbres relativas a la temperatura anual. La variabilidad y el cambio climático han contribuido al incremento de las **concentraciones de ozono** en Europa central y Europa sudoriental, fenómeno que se prevé continúe. Esto podría hacer menos eficaces las políticas de mitigación de las concentraciones de ozono aplicadas actualmente.

Criosfera

La criosfera (superficie helada del planeta) es importante en la medida en que se ve afectada por el cambio climático y, recíprocamente, los cambios que operan sobre la criosfera repercuten en el sistema climático. **Los glaciares europeos** se están derritiendo rápidamente: los glaciares alpinos han perdido dos tercios de su capacidad desde 1850, pérdida que se aceleró a partir de la década de los ochenta, y las proyecciones indican que seguirán retrocediendo. **La cubierta nival** ha disminuido un 1,3% por década durante los últimos 40 años, registrándose las pérdidas más importantes en primavera y en verano, y según las proyecciones esta disminución continuará. Estos cambios de diferente naturaleza llevarán aparejados peligros naturales y daños en las infraestructuras, así como alteraciones en los caudales y la estacionalidad de los ríos, con efectos sobre los ciclos hidrológicos de las cuencas.

Durante las cinco últimas décadas, se ha acelerado el retroceso del **hielo marino del Ártico**, especialmente en verano, y en septiembre de 2007 se registró un mínimo histórico equivalente aproximadamente a la mitad del mínimo habitual durante la década de los cincuenta. En las próximas décadas, podría incluso desaparecer el hielo marino en el Ártico durante el periodo estival, lo que contribuiría a un efecto de retroalimentación capaz de potenciar aún más el cambio climático, ya que las aguas oscuras de mar abierto reflejan un volumen de luz solar muy inferior al reflejado por las superficies blancas y nívicas. Las especies adaptadas para la vida en el hielo se encuentran amenazadas. La pérdida de hielo facilitará el acceso a los recursos del Ártico. La exploración de gas y de petróleo, la navegación, el turismo y la explotación pesquera abrirán nuevas perspectivas económicas, pero también multiplicarán los riesgos medioambientales para el Ártico.

El **permafrost montañoso** también está reduciéndose debido al aumento de las temperaturas, contribuyendo con ello a incrementar los peligros naturales y los daños en las infraestructuras de alta montaña. La **capa de hielo de Groenlandia** pierde grosor desde la década de los noventa, quizá a ritmo creciente, lo que ha contribuido a la elevación mundial del nivel del mar durante las últimas décadas. El flujo acelerado de los glaciares de aflujo hacia el mar supone una mayor pérdida de hielo que la

fusión. En este momento no es posible todavía realizar proyecciones fiables sobre el futuro de las capas de hielo de Groenlandia y de la Antártida. Nuestros conocimientos sobre los procesos que provocan un desplazamiento más rápido de los glaciares son muy limitados y no disponemos de observaciones a largo plazo.

Biodiversidad marina y ecosistemas

De acuerdo con observaciones realizadas por satélite, el ritmo de **elevación del nivel del mar** mundial se ha acelerado hasta alcanzar un promedio de 3,1 mm/anuales durante los últimos 15 años (frente a un promedio de 1,7 mm/año registrada en el siglo XX). La elevación del nivel del mar no es homogénea, sino que varía en los diversos mares europeos en función de la circulación oceánica y los efectos gravitatorios. En las últimas décadas se ha observado también un aumento más rápido de la temperatura de la superficie marina. Las proyecciones indican que el nivel del mar y **la temperatura de la superficie marina** en determinadas zonas de Europa podrían aumentar a un ritmo superior al de la media planetaria. Las estimaciones sobre la elevación del nivel del mar (hasta 0,59 m para 2100) del IPCC (2007) podrían resultar incluso demasiado bajas debido al riesgo de que se produzcan cambios más rápidos que los analizados hasta la fecha en la capa de hielo de Groenlandia (y en parte en la capa de hielo del Antártico). La elevación del nivel del mar puede provocar inundaciones, erosión costera y la pérdida de regiones costeras llanas o situadas en cotas bajas. Aumenta la probabilidad de marejadas, lo que refuerza la intrusión de agua salada en tierra y supone una amenaza para los ecosistemas litorales y los humedales.

Se han apreciado cambios en el **calendario de los fenómenos biológicos estacionales (fenología)** y en la distribución de las especies marinas, por ejemplo un adelanto de los ciclos estacionales (entre 4 - 6 semanas) y **desplazamientos hacia el norte**, de hasta 1.100 km durante los últimos 40 años, que parecen haberse acelerado a partir del año 2000. Estos cambios afectarán a los ecosistemas marinos, a la biodiversidad y a las explotaciones pesqueras, lo que comportará desde un aumento de la vulnerabilidad de las poblaciones de bacalao del mar del Norte hasta niveles de sobreexplotación pesquera y la reducción de las poblaciones de aves marinas. En las aguas europeas están apareciendo con creciente frecuencia especies subtropicales y las especies sub-árticas están migrando hacia el norte. Se ha calculado que el ritmo de desplazamiento hacia el norte de una especie concreta, el pez de San Pedro, se sitúa en torno a los 50 km/año. Los cambios en la distribución geográfica de los bancos de peces podrían incidir en la gestión de los recursos pesqueros. Los reglamentos que regulan la pesca en la UE contemplan la asignación de cuotas basadas en pautas históricas de capturas, y tal vez ha llegado el momento de revisarlos.

Cantidad de agua, crecidas de los ríos y sequías

El cambio climático, incluidos los cambios en la temperatura, las precipitaciones, los glaciares y la cubierta de nieve, está intensificando el ciclo hidrológico. No obstante, factores de distinta naturaleza como

modificaciones en el uso del suelo, prácticas en la gestión del agua y extracciones extensivas, han alterado considerablemente los flujos hídricos naturales, dificultando la detección de las tendencias inducidas por el cambio climático en las variables hidrológicas. En términos generales, se ha observado un incremento de los **caudales de los ríos** en el norte y un descenso en el sur, desequilibrio que previsiblemente se agravará. Se prevén profundos cambios en las pautas de estacionalidad, con caudales más bajos en verano y más elevados en invierno. Como consecuencia de ello aumentarán las **sequías** y se acentuará el estrés hídrico, particularmente en el sur y durante los meses de verano.

Durante las últimas décadas, Europa se ha visto afectada por varias sequías importantes, como la catastrófica sequía vinculada a la ola de calor de 2003 en las zonas centrales del continente y la sequía que afectó a la Península Ibérica en 2005. Las regiones expuestas a un mayor riesgo de sequía se encuentran situadas en Europa meridional y suroriental, aunque también experimentarán un retroceso considerable los caudales mínimos de los ríos en muchas otras zonas del continente, especialmente durante el verano.

La mejora de los sistemas de información y de seguimiento ha influido enormemente en el número de **crecidas fluviales** registradas. Por ejemplo, desde 1990, se han registrado en Europa 259 grandes crecidas, 165 de las cuales se produjeron a partir del año 2000. Para las próximas décadas, no obstante, se prevé que las inundaciones serán más frecuentes en numerosas regiones, sobre todo en primavera y en invierno, si bien las estimaciones de variaciones en la frecuencia y magnitud de las inundaciones resultan todavía poco fiables.

Los cambios previstos en el ciclo hidrológico por efecto del clima agravarán el impacto de otros tipos de presión (como la derivada de los cambios socioeconómicos y los cambios en el uso del suelo) sobre la disponibilidad de agua, los ecosistemas de agua dulce, la producción energética, la navegación, el abastecimiento y el consumo de agua dulce (en la agricultura, el sector doméstico y la industria) y el turismo. Para mitigar el estrés hídrico, mejorar la retención de agua y reducir así el riesgo de inundaciones será necesario adoptar medidas de adaptación, como por ejemplo la mejora de la eficiencia hídrica.

Calidad del agua dulce y biodiversidad

Durante el último siglo, el aumento de las **temperaturas en los lagos** y los ríos en Europa (entre 1 - 3°C durante el siglo XX) provocó una **pérdida de la cubierta de hielo en lagos y ríos** de 12 días en promedio. Cabe atribuir estas variaciones, al menos parcialmente, al cambio climático y también a otros factores como el uso de agua dulce para los procesos de refrigeración (por ejemplo en las centrales eléctricas). Se prevé que las temperaturas del agua en la superficie de los lagos y los ríos aumenten conforme aumente la temperatura del aire. El calentamiento del agua de superficie puede incidir a diferentes niveles sobre la **calidad del agua** y por tanto sobre el consumo humano y los **ecosistemas acuáticos**. Entre dichos cambios se encuentran el desplazamiento de especies de agua dulce

hacia el norte y hacia cotas más elevadas, alteraciones en los fenómenos de los ciclos vitales (fenología), como por ejemplo la proliferación de fitoplancton y zooplancton en primavera, que se han adelantado hasta un mes con respecto a hace 30 40 años. El cambio climático puede favorecer y estabilizar así el predominio de cianobacterias nocivas en las comunidades de fitoplancton, lo que constituye cada vez más una amenaza para los ecosistemas lacustres e incrementa los riesgos para la salud, en particular en cuerpos de agua utilizadas para el abastecimiento público o para el baño. Estos cambios podrían llegar contrarrestar el efecto de las medidas aplicadas para reducir la carga de nutrientes. Es necesario continuar con las observaciones que permitan confirmar y analizar con mayor detalle estos cambios.

Los ecosistemas terrestres y la biodiversidad

El cambio climático, y más en concreto la moderación de las temperaturas en invierno, es responsable de los cambios de distribución de numerosas **especies vegetales europeas** observados **hacia el norte y cotas elevadas**. Las previsiones indican que para finales del siglo XXI las especies vegetales se habrán desplazado varios cientos de kilómetros hacia el norte, los bosques se habrán contraído en el sur y expandido en el norte y el 60% de las especies vegetales de montaña podrán encontrarse en riesgo de extinción. El cambio se producirá a un ritmo superior al de la capacidad de adaptación de muchas especies, habida cuenta, en particular, de que la fragmentación del paisaje podría limitar los desplazamientos. La secuencia de **los fenómenos de carácter estacional de las plantas (fenología)** está sufriendo alteraciones, como denotan el adelanto de la primavera y el verano entre 1971 y 2000 a razón de 2,5 días por década. La estación de polinización se inicia, por lo general, con 10 días de antelación y tiene una duración más prolongada que hace 50 años. Se prevé que continúen produciéndose alteraciones en los fenómenos estacionales.

Las aves, insectos, mamíferos y otros **grupos animales** también se están desplazando **hacia el norte y hacia cotas más elevadas**. El desplazamiento de numerosas especies animales se verá obstaculizado por la confluencia de factores como el ritmo del cambio climático, la fragmentación de los hábitats y otros, lo que probablemente provocará una reducción progresiva de la biodiversidad europea. Se prevé que sigan alterándose las pautas de distribución. Las proyecciones indican un desplazamiento de las condiciones climáticas adecuadas para las aves nidificantes europeas de casi 550 km hacia el nordeste para finales de este siglo, reduciéndose el tamaño medio de su hábitat en un 20%. Las proyecciones sobre 120 mamíferos originarios de Europa indican que hasta el 9% se hallará en peligro de extinción durante el siglo XXI, asumiendo que ninguno de ellos migre.

El cambio climático ha provocado un adelanto de **los ciclos anuales de numerosos grupos de animales (fenología)**, como el desove de las ranas, la nidificación de las aves y la llegada de aves y mariposas migratorias, tendencia que de acuerdo con las previsiones se mantendrá. Si los ejemplares jóvenes no están expuestos a las presiones depredadoras habituales podría

producirse una explosión demográfica. Por el contrario, su demografía podría entrar en crisis si la aparición de nuevos ejemplares vulnerables no guarda sincronía con su principal fuente de alimento o si el acortamiento de los periodos de hibernación provoca una degradación de sus condiciones físicas.

Suelo

Se dispone de muy poca información sobre los impactos del cambio climático en el suelo y sus consecuencias. No contamos con indicadores que abarquen al continente europeo en su totalidad y es necesario establecer sistemas de seguimiento adecuados. Es factible que se produzcan alteraciones en las características biofísicas del suelo por efecto del incremento de las temperaturas, el cambio en la intensidad y la frecuencia de las precipitaciones y el agravamiento de las sequías. Estos cambios pueden llevar aparejada una mayor disminución de las reservas de **carbono orgánico en suelo** y un aumento sustancial de las emisiones de CO₂. Para contrarrestar estos impactos podrían aplicarse prácticas adaptadas de gestión y uso del suelo. Las variaciones previstas en las pautas y la intensidad de la pluviosidad incrementarán la sensibilidad de los suelos a la **erosión**. Las proyecciones indican reducciones significativas de la humedad del suelo durante el verano en la región mediterránea y aumentos en la zona nororiental de Europa. Es importante preservar la **capacidad de retención de agua**, por ejemplo mediante la aplicación de medidas de adaptación. El cambio climático altera el hábitat de la biota del suelo, lo que afecta a la diversidad y estructura de las especies y a su abundancia. Consecuentemente, el funcionamiento de los ecosistemas se ve modificado, pero apenas se dispone de información cuantificada acerca de estos impactos. La degradación del suelo ya es intensa en diversas zonas del Mediterráneo y de Europa centro-oriental y, todo ello, unido a una prolongación de los periodos de sequía y a un mayor número de incendios, está contribuyendo a incrementar el riesgo de desertificación. La desertificación, irreversible en muchos casos, acarrea efectos sociales, económicos y ambientales muy negativos. Es en estas mismas zonas donde mayor es el riesgo previsto de desertificación.

Agricultura y silvicultura

Tanto en la agricultura como en la silvicultura, el cambio climático afecta al **periodo vegetativo** y al rendimiento medio de las cosechas, pero el uso y la gestión del suelo también están registrando cambios fundamentales, por lo que detectar cuáles son las tendencias inducidas por el cambio climático no resulta sencillo. El periodo vegetativo de algunos cultivos agrícolas se ha prolongado en latitudes más septentrionales, favoreciendo la adaptación e introducción de nuevas especies. En general, el periodo vegetativo se ha visto localmente reducido en latitudes meridionales. En Europa, la floración y la maduración de diversas especies se produce actualmente con dos o tres semanas de antelación respecto a épocas anteriores, incrementándose con ello la exposición al daño provocado por el frío de heladas primaverales que llegan con retraso. Se prevé que las alteraciones en el periodo vegetativo y en el **calendario del ciclo de los cultivos agrícolas (agrofenología)** continúen.

Desde comienzos del siglo XXI, la **variabilidad del rendimiento de los cultivos** motivada por fenómenos climáticos extremos no ha dejado de ir en aumento: por ejemplo, la ola de calor estival de 2003 y la sequía primaveral de 2007. Se prevé que la frecuencia y magnitud de los fenómenos extremos aumente y, por lo tanto, que los rendimientos de los cultivos tiendan a ser más variables. El aumento de la **demandas de agua** para usos agrícolas (entre 50 - 70%) se ha producido fundamentalmente en las zonas mediterráneas y se prevé que continúe, incrementando con ello la competencia entre sectores y usos. Para reducir o evitar los impactos desfavorables es necesario adaptar las prácticas agrícolas y la gestión del suelo. No obstante, algunas de las opciones de adaptación, por ejemplo el riego, contribuyen al aumento de las emisiones debido al mayor consumo energético.

En buena parte de la Europa continental, los **bosques** crecen en general a un ritmo más acelerado que a comienzos del siglo XX debido a los avances experimentados en las prácticas en materia de gestión forestal, la mayor deposición de nitrógeno, y una reducción de la acidificación por contaminación atmosférica (dióxido de azufre) y también al aumento de las temperaturas y de las concentraciones de CO₂ atmosférico. El cambio climático previsto favorecerá a determinadas especies en algunas zonas forestales, mientras que empeorará las condiciones para el desarrollo de otras, provocando con ello cambios sustanciales de las pautas de distribución vegetal. Los cambios en la distribución y ciclo estacional de parásitos y polinizadores contribuirán también a modificar las actuales condiciones de los bosques, aunque no es fácil predecir de qué modo lo harán. Las épocas de sequía y los inviernos cálidos están incrementando las poblaciones de parásitos y contribuyendo a debilitar aún más los bosques. El aumento previsto de la temperatura incrementará el riesgo de incendios forestales y provocará un incremento de la superficie incendiada, el número de focos y una prolongación de las épocas de incendios, especialmente en Europa meridional y central. Será preciso por tanto adoptar también medidas de adaptación en el sector forestal para limitar los efectos adversos del cambio climático.

Salud humana

El aumento de las temperaturas puede tener diferentes efectos sobre la salud humana. El gran incremento de la mortalidad registrado durante la **ola de calor** de 2003 (más de 70.000 defunciones en 12 países) puso de manifiesto la necesidad de actuaciones de adaptación, como es el caso de los planes de actuación contra las olas de calor. Las previsiones indican que estas olas de calor se harán más habituales a lo largo del presente siglo y que el riesgo de mortalidad aumentará entre un 0,2 y un 5,5% por cada grado centígrado que aumente la temperatura en relación al umbral específico de una localización concreta. Se aprecian leves indicios de un descenso de la mortalidad invernal en Europa, pero ello podría deberse a otras causas, a saber, mejora de las condiciones de alojamiento y prevención de las infecciones invernales. Se prevé que en el futuro próximo aumente la incidencia de algunas **enfermedades transmitidas por vectores**. El mosquito tigre, transmisor de diversos virus,

ha ampliado sustancialmente su radio de actividad en Europa durante los últimos 15 años y, de acuerdo con las previsiones, lo ampliará todavía más. Las garrapatas y sus enfermedades asociadas, como la enfermedad de Lyme y la encefalitis por garrapatas, se están desplazando hacia altitudes y latitudes superiores. Existe el riesgo de que se produzcan brotes adicionales de Chikungunya (un virus muy infeccioso que provoca incapacidad, aunque no se transmite de persona a persona) y posibilidad de reaparición localizada del dengue. En varios países europeos se están produciendo cambios en la distribución geográfica del mosquito transmisor flebótomo y existe un riesgo de leishmaniasis en humanos en zonas más septentrionales. La posible propagación de estas enfermedades depende en gran medida de su detección temprana y de la aplicación de medidas preventivas. Se espera que los brotes de algunas **enfermedades transmitidas por el agua y por los alimentos** resulten cada vez más frecuentes conforme aumentan las temperaturas y la frecuencia de los fenómenos extremos. El riesgo depende en gran medida del comportamiento humano y de la calidad de los servicios de atención sanitaria, así como de su capacidad de detección temprana y de actuación.

Adaptación al cambio climático

La adaptación al cambio climático se impone necesariamente, como estrategia destinada a limitar sus impactos desfavorables y aprovechar algunas transformaciones positivas. Europa debe acometer la adaptación y también debe ayudar en este sentido a los países en vías de desarrollo, puesto que es en estos países donde comunidades, ecosistemas y sectores económicos presentan mayor vulnerabilidad.

La adaptación abarca la toma de decisiones a todos los niveles, desde el local hasta los organismos internacionales. Implica una problemática intersectorial y transfronteriza que requiere planteamientos integrados y exhaustivos. Entre los sectores económicos especialmente afectados por la adaptación al cambio climático cabe mencionar el suministro energético, la sanidad, la gestión del agua, la agricultura, el turismo y el transporte. **Integrar la adaptación en las políticas sectoriales** a escala europea y nacional es una tarea importante para combatir a largo plazo la vulnerabilidad de los ecosistemas, los sectores económicos, los paisajes, la salud y las comunidades humanas frente a los impactos del cambio climático.

La Comisión Europea adoptó un Libro Verde, «Adaptación al cambio climático en Europa: opciones de actuación para la UE», en junio de 2007 y prevé publicar a finales de 2008 un Libro Blanco en el que se formularán la estrategia y las diversas opciones para llevar a cabo la adaptación. Ya se han formulado y ejecutado (o están en vías de hacerlo) estrategias nacionales de adaptación en diversos países miembros, normalmente basadas en evaluaciones de impacto y vulnerabilidad y/o motivadas por la emergencia asociada a los extremos climáticos y meteorológicos.

Impactos económicos

Determinados estudios han cuantificado los costes económicos y los posibles beneficios que comportan los impactos climáticos, pero a menudo predominan en dichos estudios una serie de factores ajenos al cambio climático en sí, lo que en último término imprime incertidumbre a las evaluaciones. Además, apenas disponemos de información respecto a los costes que suponen las acciones de adaptación, tanto en la situación actual como en el futuro.

Sin embargo, aproximadamente el 90% de los desastres naturales registrados en Europa desde 1980 pueden achacarse directa o indirectamente a causas meteorológicas y climáticas, y representan en torno al 95% de las pérdidas económicas provocadas por las catástrofes naturales. Las pérdidas globales derivadas de fenómenos climáticos y meteorológicos han experimentado un notable incremento durante los últimos 25 años. Aunque los **cambios sociales y el desarrollo económico** son los factores que más han incidido en dicho aumento, existen indicios de que los **cambios en los patrones de desastres meteorológicos** también han contribuido a impulsarlos. No obstante, aún es demasiado pronto para determinar en qué porcentaje puede achacarse el aumento de las pérdidas al cambio climático de origen antropogénico.

Las pérdidas económicas provocadas por inundaciones extremas han sido muy sustanciosas en los últimos años. A modo de ejemplo, se calcula que las pérdidas en Europa central ascendieron a 17.400 millones de euros en 2002. Por otro lado, se calcula que en Europa los costes económicos de las inundaciones costeras (en la hipótesis de no aplicación de medidas de adaptación) oscilarían entre los 12.000 y los 18.000 millones de euros al año en 2080. La adaptación permitiría recortar sustancialmente dichos costes hasta los 1.000 millones de euros al año aproximadamente.

Se calcula que la ola de calor en el verano de 2003 provocó pérdidas económicas por valor de 10.000 millones de euros en la agricultura, la ganadería y la silvicultura europeas derivadas de los efectos combinados de las sequías, el estrés térmico y los incendios.

El trabajo desarrollado en el marco de la iniciativa «La economía de los sistemas y la biodiversidad» muestra como, a escala mundial, las pérdidas acumuladas de calidad de vida provocadas por la pérdida de los servicios que aportan los ecosistemas, considerando el cambio climático como una de las causas, podrían equivaler al 7% del consumo anual para 2050. No obstante, en la actualidad se dispone de muy poca información ecológica o económica sobre los impactos de la pérdida de biodiversidad en el futuro y son necesarias nuevas evaluaciones y trabajos metodológicos.

Las proyecciones indican una reducción significativa de la demanda de calefacción de locales en Europa septentrional y un aumento de la demanda de refrigeración en Europa meridional, con los costes y beneficios correspondientes. Se prevé un aumento de la producción de energía hidroeléctrica en Europa septentrional y una disminución en el sur. De agravarse las sequías, la disponibilidad de

agua de refrigeración en las centrales eléctricas podría verse restringida.

Los cambios climáticos están empezando a afectar la capacidad de atracción de grandes complejos turísticos situados en zonas montañosas y en el Mediterráneo, si bien la potencian en otras regiones. Se prevé que la idoneidad del Mediterráneo como centro de atracción turística disminuya durante los meses centrales de la temporada estival, aunque aumentará durante la primavera y el otoño. A ello pueden ir aparejados cambios en los grandes flujos turísticos dentro de la UE, que revestirán gran importancia en las regiones donde el turismo constituye un importante motor económico. Medidas de adaptación, como por ejemplo la diversificación económica, jugarán un papel fundamental a la hora de limitar las pérdidas económicas.

Retos clave para el futuro

Mejora de la vigilancia y de la información

En las últimas décadas han mejorado los datos y la información disponible sobre los impactos observados y previstos del cambio climático en Europa. Sin embargo, en el caso de muchos de estos impactos, la disponibilidad de información varía considerablemente entre las diferentes regiones. Contamos con varios programas nacionales de seguimiento y recopilación de datos para algunas de las «variables climáticas esenciales» definidas por la OMS dentro del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), para los que rige la obligación de notificar periódicamente información al CMNUCC. Además, para el seguimiento de estas variables se utilizan cada vez con mayor frecuencia datos de satélite. Ciertos datos dependen del voluntariado desarrollado por organizaciones no gubernamentales. No obstante, en el caso de un gran número de indicadores, los datos provienen de un reducido grupo de proyectos regionales o locales y de proyectos de investigación a escala nacional o europea. No se dispone de programas periódicos de seguimiento que abarquen todo el continente europeo para casi ninguno de los indicadores presentados en este informe. Se precisará información espacial más detallada para formular estrategias de adaptación adecuadas. Los sistemas de vigilancia e información pueden perfeccionarse en sincronía con el sistema de información ambiental compartida para Europa (*Shared Environmental Information System*, SEIS), con los trabajos coordinados de los países de la Comisión (CE, 2008). Los proyectos de GMES (vigilancia mundial del medio ambiente y la seguridad, CE, 2004) y el sistema de información sobre el medio ambiente y la salud (*Environment and Health Information System*, EHIS) pueden suplir las carencias de datos e información esencial. La Directiva INSPIRE ayudará a mejorar la interoperabilidad, la armonización y el acceso a la información. Convendría contar con un convenio europeo sobre la definición de los indicadores clave del cambio climático, entre ellos, los fenómenos meteorológicos extremos (por ejemplo las «inundaciones» y las «sequías») y definir los protocolos operativos para abordar los impactos con un enfoque transversal que cubra múltiples sectores, a lo largo de diferentes series cronológicas y escalas geográficas.

Mejora de los métodos de atribución para las evaluaciones de impacto

Aunque varios de los cambios advertidos en diferentes sistemas sociales y naturales son coherentes con los cambios climáticos observados, también influyen en el comportamiento del sistema otros factores. Aislar el factor cambio climático de otros factores (sociales por ejemplo) y la presión antropogénica de los factores naturales sigue resultando con frecuencia problemático para algunos de los indicadores (IPCC, 2007). En este sentido, es necesario mejorar las proyecciones de impactos disponibles y el enfoque utilizado para formular actuaciones orientadas hacia la adaptación.

Mejora del conocimiento de los aspectos socioeconómicos e interinstitucionales de la vulnerabilidad y de la adaptación

Una buena parte de las actividades de investigación y de evaluación realizadas hasta la fecha se ha centrado en los aspectos climatológicos, físicos y biológicos de los impactos del cambio climático. Es urgente ampliar los conocimientos acerca de los aspectos socioeconómicos e interinstitucionales asociados a la vulnerabilidad y la adaptación, incluidos los costes y los beneficios que comporta. Son muy pocos los estudios que han evaluado la eficacia de las medidas de adaptación a lo largo de varias series cronológicas diferentes; las medidas de adaptación actuales podrían no ser efectivas si durante las próximas décadas aumentasen, por ejemplo, la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos.

Análisis de escenarios mejorado y coordinado los impactos y la vulnerabilidad

Los indicadores sobre impactos del cambio climático y vulnerabilidad presentados en este informe se basan fundamentalmente en escenarios a escala mundial y sólo en el caso de algunos indicadores contienen información espacialmente detallada a escala europea. Estos escenarios son además incompletos y varían dependiendo de los indicadores. Se necesita una interacción periódica entre la comunidad dedicada a la modelización climática y la comunidad de usuarios que analizan los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación para poder elaborar unos escenarios del cambio climático altamente contrastados y adaptados a las escalas regional y local, que permitan definir medidas de adaptación apropiadas. Sería conveniente que los proyectos de investigación europeos adoptasen un conjunto de escenarios climáticos similar al utilizado para el desarrollo mundial, como por ejemplo los que utiliza el IPCC, y que hiciesen uso de las proyecciones climáticas regionales según estén disponibles. Será preciso emprender una labor de investigación y exploración a muy largo plazo (siglos) y un trabajo de análisis sobre aquellos impactos del cambio climático a medio plazo (décadas) para los que resulta urgente y necesario formular actuaciones de adaptación mejor elaboradas. No obstante, pese a las incertidumbres que rodean a los escenarios del cambio climático en la actualidad, las partes interesadas tendrán que tomar decisiones que podrán ir mejorando a medida que tengamos acceso a escenarios más detallados.

Más información sobre buenas prácticas y prevención de la mala adaptación

Es necesario mejorar la información para la integración de la adaptación en las políticas sectoriales, especialmente con respecto a la gestión del agua, el suministro energético y la protección de la biodiversidad, la salud y la agricultura. Asimismo deben formularse buenas prácticas que permitan abordar la adaptación desde una perspectiva intersectorial y transfronteriza, en coordinación con las acciones de mitigación, a fin de mejorar la capacidad de resistencia en todos los países, sectores, paisajes y comunidades europeos. En el futuro, las acciones que se emprendan deberán hacerlo considerando tanto a los países que mantienen una relación de vecindad con Europa como a los territorios más alejados. Además, es importante ampliar la información sobre mala adaptación, por ejemplo, mediante la aplicación de unos criterios de desarrollo que incluyan aspectos sociales, ambientales, sanitarios y económicos. También es recomendable efectuar una labor sustancial de mejora de la evaluación de los costes de la adaptación en todos los sectores.

Desarrollo de mecanismos de intercambio de información

Los programas previstos de investigación tanto a nivel nacional como europeo se traducirán en un rápido incremento de la cantidad de datos e información disponibles sobre impactos del cambio climático, vulnerabilidad y adaptación. Un Centro de intercambio europeo sobre impactos del cambio climático, vulnerabilidad y adaptación podría facilitar el acceso a la información a potenciales usuarios en toda Europa. La información podría incluir datos sobre cambios climáticos observados y previstos, información sobre sistemas vulnerables, indicadores, herramientas para las evaluaciones de impacto y medidas de adaptación que impliquen buenas prácticas. La creación de este centro de intercambio deberá ser coherente con los centros de datos sobre medio ambiente (sobre el cambio climático, el agua, el uso del suelo, la biodiversidad y la atmósfera) y los sistemas de información (Centro de intercambio de información sobre biodiversidad de la Comunidad Europea) ya existentes en Europa y de cuya gestión se encargan actualmente la AEMA, el CCI (centros de datos sobre silvicultura y suelo) y la OMS (Sistema de información sobre el clima, el medio ambiente y la salud, CEHAIS). Este centro de información también podría proporcionar información relevante sobre Europa a organizaciones internacionales como el CMNUCC.

Tabla S.1 Tendencias observadas (obs) y proyectadas (scen) en el clima y los impactos para las regiones septentrionales (ártica y boreal), templadas (clima marítimo, central/oriental) y meridionales (mediterránea) de Europa

Sección	Indicador	Norte	Templado		Sur
		Ártico y boreal	Clima marítimo	Central/oriental	Mediterráneo
		obs/scen	obs/scen	obs/scen	obs/scen
5.2	Atmósfera y clima				
5.2.2	Temperatura mundial y europea	+/+	+/+	+/+	+/+
5.2.3	Precipitación europea	+/+	+/0	o/o	-/-
5.2.4	Extremos de temperatura en Europa				
	Olas de calor en Europa	+/+	+/+	+/+	+/+
	Nº de días con heladas	-/-	-/-	-/-	-/-
5.2.5	Precipitaciones extremas en Europa	+/+	+/+	+/+	+/+
5.2.6	Tormentas y marejadas en Europa	o/o	o/+	o/o	o/o
5.2.7	Contaminación atmosférica por ozono	o/+	+/+	+/+	+/+
5.3	Criosfera				
5.3.2	Glaciares	-/-	n.d./n.d.	-/-	-/-
5.3.3	Cubierta nivosa	-/-	-/-	0/-	+/-
5.3.4	Capa de hielo de Groenlandia	-/-	n.d./n.d.	n.d./n.d.	n.d./n.d.
5.3.5	Hielo marino ártico	-/-	n.d./n.d.	n.d./n.d.	n.d./n.d.
5.3.6	Permafrost de montaña	-/-	-/-	-/-	-/-
5.4	Biodiversidad marina y ecosistemas				
5.4.2	Elevación del nivel del mar	+/+	+/+	+/+	+/+
5.4.3	Temperatura de la superficie del mar	+/+	+/+	+/+	+/+
5.4.4	Fenología marina	+/+	+/+	n.d./n.d.	n.d./n.d.
5.4.5	Movimiento hacia el norte de especies marinas	+/n.d.	+/n.d.	n.d./n.d.	n.d./n.d.
5.5	Cantidad de agua, inundaciones de ríos y sequías				
5.5.2	Flujo de ríos	+/+	o/+	o/+	-/-
5.5.3	Inundaciones de ríos (nº de sucesos)	o/-	+/+	+/+	o/+

Tabla S.1 Tendencias observadas (obs) y proyectadas (scen) en el clima y los impactos para las regiones septentrionales (ártica y boreal), templadas (clima marítimo, central/oriental) y meridionales (mediterránea) de Europa(cont.)

Sección	Indicador	Norte	Templado		Sur
		Ártico y boreal	Clima marítimo	Central/oriental	Mediterráneo
		obs/scen	obs/scen	obs/scen	obs/scen
5.5.4	Sequía de flujo de ríos	o/-	o/+	o/-	o/+
5.6	Calidad de las aguas superficiales y biodiversidad				
5.6.2	Temperatura del agua	+/+	+/+	+/+	+/+
5.6.3	Cubierta de hielo de lagos y ríos	-/-	-/-	-/-	-/-
5.6.4	Biodiversidad del agua dulce y calidad del agua (desplazamiento hacia el norte de especies)	+/+	+/+	+/+	+/+
	Calidad del agua	n.d./-	n.d./-	n.d./-	n.d./-
5.7	Sistemas terrestres y biodiversidad				
5.7.2	Distribución de especies vegetales	+/+	+/+	+/+	+/+
5.7.3	Fenología vegetal	+/+	+/+	+/+	+/+
5.7.4	Distribución de especies animales	+/+	+/+	+/+	+/+
5.7.5	Fenología animal	+/+	+/+	+/+	+/+
5.7.6	Relaciones entre especies y ecosistemas	-/-	-/-	-/-	-/-
5.8	Suelos				
5.8.2	Carbono orgánico en suelo	n.d./n.d.	n.d./n.d.	n.d./n.d.	n.d./n.d.
5.8.3	Erosión hídrica del suelo	n.d./n.d.	n.d./n.d.	n.d./n.d.	n.d./n.d.
5.8.4	Retención de agua	n.d./+	n.d./-	n.d./-	n.d./-
5.9	Agricultura y silvicultura				
5.9.2	Período de crecimiento de los cultivos agrícolas	+/+	+/+	+/+	+/+
5.9.3	Calendario del ciclo de los cultivos agrícolas (agrofenología)	+/+	+/+	+/+	+/+
5.9.4	Variabilidad del rendimiento de los cultivos	+/+	+/+	+/+	+/+
5.9.5	Necesidad de agua	n.d./n.d.	-/n.d.	-/n.d.	+/n.d.
5.9.6	Crecimiento forestal	+/+	+/+	+/+	+/+
5.9.7	Peligro de incendios forestales	-/+	-/+	+/+	+/+
5.10	Salud humana				
5.10.2	Calor y salud	+/+	+/+	+/+	+/+
5.10.3	Enfermedades transmitidas por vectores (caso de estudio)	+/+	+/+	+/+	+/+
5.10.4	Enfermedades transmitidas por el agua o alimentos	n.d./+	+/+	+/+	+/+
7	Consecuencias económicas de cambio climático				
7.2	Pérdidas directas por desastres climáticos	+/+	+/+	+/+	+/+
7.3	Pérdidas normalizadas por desastres debidos a inundaciones de ríos	+/-	+/+	+/o	+/o
7.4	Áreas costeras (inundaciones)	n.d./+	n.d./+	n.d./+	n.d./+
7.5	Abastecimiento público de agua y gestión del agua potable	n.d./o	-/-	n.d./o	-/-
7.6	Agricultura y silvicultura (rendimientos)	n.d./+	n.d./-	n.d./o	n.d./-
7.7	Bienes y servicios de la biodiversidad y ecosistemas (pérdidas de bienestar)	n.d./+	n.d./+	n.d./+	n.d./+
7.8	Energía				
	Demanda de calefacción y aire acondicionado	n.d./-	n.d./o	n.d./0	n.d./+
	Producción hidroeléctrica	n.d./+	n.d./-	n.d./-	n.d./-
7.9	Turismo y ocio (índice de comodidad)	n.d./+	n.d./-	n.d./-	n.d./-
7.10	Salud (impacto)	n.d./+	n.d./+	n.d./+	n.d./+
7.11	Los costes del cambio climático para la sociedad	n.d./+	n.d./+	n.d./+	n.d./+

+ = ascendente; - = descendente; o = sin cambios significativos (o tendencias divergentes en la región); n.d. = no disponible

Mapa S.1 Impactos y efectos clave pasados y previstos sobre distintos sectores para las regiones biogeográficas más importantes de Europa



Fuente: IPCC, 2007; EEA.

1 Introducción

1.1. Objetivo y alcance

En las últimas décadas se han registrado cambios importantes en la climatología europea y global. El nivel del mar y las temperaturas están aumentando, varían los regímenes de precipitación y, en muchas regiones, aumenta la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos.

Este informe presenta los resultados de una evaluación basada en indicadores sobre los cambios climáticos recientes y futuros, así como sus impactos en Europa, con los siguientes objetivos:

- presentar el cambio climático pasado y previsto y sus impactos mediante unos indicadores fácilmente comprensibles y apoyándose en una base científica sólida y políticamente relevante;
- determinar los sectores y las regiones más vulnerables al cambio climático y en las que las necesidades de adaptación resultan más urgentes;
- aumentar el nivel de concienciación sobre la necesidad de desarrollar actuaciones de mitigación (para alcanzar el objetivo de temperatura mundial de la UE) y de adaptación a nivel mundial, europeo y nacional;
- subrayar la necesidad de mejorar el seguimiento, la recopilación de datos y su divulgación, así como de reducir las incertidumbres en la modelización de impacto y clima.

El informe pretende ofrecer una información sucinta aunque exhaustiva a partir de indicadores que cubren, hasta donde es posible, las principales categorías de impacto en Europa (los 32 países miembros de la

AEMA). No obstante, para aquellas categorías para las que no se ha dispuesto de datos relativos al conjunto de Europa, se han desarrollado y presentado en algunos casos indicadores a escala reducida, cuando se ha dispuesto de, al menos, los datos correspondientes a algunos países.

El informe constituye una actualización del informe anterior sobre los impactos del cambio climático en Europa publicado por la AEMA (2004) y va destinado a un público amplio que incluye responsables políticos de la UE, tanto a escala local como nacional, y a organizaciones gubernamentales y no gubernamentales interesadas en la materia (por ejemplo, organizaciones ambientales o empresariales).

1.2 Antecedentes y marco político

Las consecuencias del cambio climático incluyen el aumento del riesgo de inundaciones y de sequías, pérdida de biodiversidad, amenazas para la salud humana y daños para sectores económicos como la energía, la silvicultura, la agricultura y el turismo. En determinados sectores podrían aflorar oportunidades nuevas, al menos durante un cierto periodo de tiempo, aunque a largo plazo es previsible que el aumento de las temperaturas, la ausencia de medidas destinadas a reducir las emisiones o adaptarse a las consecuencias del cambio climático, provoque efectos desfavorables a escala mundial.

El Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) entró en vigor en 1994. Su objetivo en último término es «estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera en niveles que impidan interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático».

Recuadro 1.1 Cuarta Evaluación del IPCC (2007)

Una de las conclusiones del Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas, de 2007, es que «el calentamiento del sistema climático es inequívoco, tal como ponen de relieve los incrementos constatados de las temperaturas medias atmosféricas y oceánicas, la fusión a gran escala de los hielos y las nieves y la elevación del nivel medio del mar en todo el planeta» (Informe de Síntesis, IPCC, RRP, 2007).

El IPCC ha llegado asimismo a la conclusión de que «el aumento constatado de las temperaturas medias en el planeta desde mediados del siglo XX se debe en la mayor parte, y con grandes visos de probabilidad, al aumento de las concentraciones observadas de GEI de origen antropogénico» y «el mantenimiento de las emisiones de GEI en tasas similares a las actuales o superiores provocaría un calentamiento aún mayor e induciría numerosos cambios en el sistema climático mundial durante el siglo XXI, que muy probablemente superarían a los observados durante el siglo XX» (Informe de Síntesis, IPCC, RRP, 2007).

Para evitar «los riesgos del cambio climático», la UE ha fijado como objetivo un aumento máximo de la temperatura mundial de 2°C por encima de los niveles preindustriales. Este objetivo obligará a frenar el incremento de las emisiones mundiales durante los próximos 10 a 15 años y a continuación a reducirlas por debajo del 50% con respecto a los niveles de 1990 para 2050. En el seno de la CMNUCC se está negociando un acuerdo internacional para el período posterior a 2012 con el fin de alcanzar un compromiso en la conferencia sobre el clima, cuya celebración está prevista para finales de 2009 en Copenhague.

Sin embargo, la percepción cada vez más generalizada es que, aunque las emisiones de GEI se estabilizasen en los niveles actuales, las temperaturas seguirán aumentando durante varias décadas, con los impactos que ello implica. Aunque se alcanzase el objetivo fijado por la UE, el calentamiento ya producido del planeta dentro de un modelo de desarrollo económico ya inevitable, provocará impactos de distinta naturaleza asociados al cambio climático y a los que los países deberán adaptarse. En el seno de la CMNUCC y de otros organismos de las Naciones Unidas, la adaptación al cambio climático es motivo de creciente preocupación, especialmente en los países en vías de desarrollo, dado que estos países, a menudo pobres, serán los que sufran los primeros y más perjudiciales efectos, pese a sus bajos niveles de emisión de GEI y a su menor contribución al problema (PNUD, 2007).

La vulnerabilidad de regiones y sectores no es la misma en toda Europa, aunque todos los países han admitido la necesidad de adaptarse al cambio climático. El Libro Verde de la Comisión Europea sobre la adaptación (2007) supuso el inicio de las políticas de adaptación en la UE y ya se han empezado a adoptar medidas a escala nacional. A finales de 2008 se publicará el Libro Blanco de la Comisión sobre la adaptación. La integración del cambio climático en otras esferas políticas a nivel europeo y nacional ya está en marcha, como pone de manifiesto la Directiva marco sobre el agua (cuyo objeto es mejorar la calidad del agua disponible) y la Directiva sobre inundaciones (que persigue reducir los daños ocasionados por las inundaciones), así como la Comunicación de la Comisión sobre la escasez de agua y la sequía.

Los responsables políticos y la sociedad en general necesitan disponer de información válida, y el progreso de los conocimientos científicos en relación con el cambio climático y sus impactos a escala regional constituye un problema fundamental a la hora de formular y ejecutar las mejores opciones posibles en materia de adaptación. Determinados países realizan, o han realizado ya, evaluaciones sobre su grado de vulnerabilidad o han redactado planes de adaptación. No obstante, es necesario seguir profundizando en

la realización de evaluaciones de vulnerabilidad, en la capacidad de adaptación de los diversos sectores económicos y en aspectos medioambientales esenciales. Disponemos de muy poca información contrastada respecto a los costes de la adaptación y es necesario seguir trabajando para lograr una adaptación estructurada, eficiente y equilibrada en Europa. Existen numerosos proyectos europeos y nacionales sobre los impactos del cambio climático, la vulnerabilidad y la adaptación pero, con frecuencia, sus resultados no se han trasladado a los responsables políticos y otros actores en un formato comprensible para ellos. Hacen falta nuevos proyectos que apoyen el desarrollo de directrices políticas y herramientas adecuadas y el establecimiento de redes transnacionales y subnacionales efectivas.

Por todas estas razones, la Agencia Europea de Medio Ambiente, el Centro Común de Investigación de la Comisión y la Organización Mundial de la Salud (su oficina europea) han colaborado activamente en la elaboración de este informe. La Agencia ha prestado también una activa colaboración a través de varios de sus centros temáticos europeos (CTE), incluido el CTE sobre Aire y Cambio Climático, el CTE sobre el Agua y el CTE sobre la Diversidad Biológica.

El informe presenta los resultados de varios trabajos de investigación desarrollados recientemente a escala europea y nacional (proyectos FP5 - 7) y a su vez toma como referencia la cuarta evaluación efectuada por el IPCC (2007) y otras evaluaciones internacionales fundamentales efectuadas recientemente, incluido el informe que lleva por título “Arctic Climate Impact Assessment” (Evaluación del Impacto Climático en el Ártico), en su edición de 2004 y su actualización de 2007, y el informe “Global Outlook for Ice and Snow” (Perspectiva Mundial sobre el Hielo y la Nieve) publicado por el PNUMA en 2007. El informe recopila asimismo evaluaciones realizadas a escala nacional en varios países europeos. Su principal valor añadido radica, por comparación con estos u otros informes, en el hecho de que incorpora la información científica más reciente y Europa constituye su foco de atención preferente.

Comparado con el anterior informe sobre indicadores publicado por la AEMA en 2004, en éste se incorporan una serie de indicadores nuevos, a la vez que se ha prescindido de algunos indicadores utilizados anteriormente por diversos motivos, como por ejemplo, el hecho de que no estuviese clara la relevancia del indicador con respecto a los impactos del cambio climático.

Es posible consultar también todos los indicadores a través del sistema de gestión de indicadores en el sitio web de la AEMA, herramienta que permite una

actualización sencilla y periódica de aquellos para los que se disponga de datos actualizados con regularidad (posiblemente anual) y en los que se estén observando cambios de evolución importantes durante un período de tiempo relativamente corto de unos pocos años.

1.3 Descripción general

El capítulo 2 expone los precedentes científicos del cambio climático, sus causas y sus impactos. También ofrece una descripción general de los vínculos existentes entre las diferentes categorías de indicadores.

El capítulo 3 ofrece una introducción y una breve descripción del cambio climático observado en Europa.

El capítulo 4 incluye una descripción general del cambio climático previsto y analiza la posibilidad de un cambio climático irreversible con riesgos potencialmente catastróficos. Además, se incluye información de referencia sobre los escenarios del cambio climático e indicadores de las previsiones de cambio climático.

La parte principal del informe lo constituye el capítulo 5, que describe el estado del cambio climático y sus impactos en Europa sirviéndose de aproximadamente unos 40 indicadores, subdivididos en ocho categorías diferentes:

- atmósfera y clima;
- criosfera (glaciares, nieve y hielo);
- biodiversidad marina y ecosistemas;
- cantidad de agua;
- calidad del agua dulce y biodiversidad;
- ecosistemas terrestres y biodiversidad;
- suelo;
- agricultura y silvicultura;
- salud humana.

Los indicadores del capítulo 5 incluyen ejemplos concretos y cuantificables del cambio climático y sus impactos, que presentan ya unas pautas de evolución claras. Se han seleccionado sobre todo indicadores para los que disponemos de datos correspondientes a una serie temporal de aproximadamente 20 años, si bien en ciertos casos las series son más breves, incluyéndose en estos casos una justificación de la inclusión del indicador. Las respuestas de los indicadores seleccionados pueden entenderse representativas de las respuestas más complejas de la categoría en conjunto. Por otro lado, los resultados dejan entrever en qué lugares, en qué sectores y hasta qué punto es vulnerable Europa al cambio climático, tanto en la actualidad como en el futuro. Cada indicador se presenta en un subapartado independiente que resume sus mensajes clave, explica la relevancia medioambiental, política y social del indicador, describe brevemente las principales incertidumbres e incluye un análisis de tendencias pasadas, recientes y futuras.

El capítulo 6 discute las estrategias y actuaciones de adaptación frente al cambio climático y hace una revisión de la experiencia desarrollada.

El capítulo 7 aborda las repercusiones del cambio climático sobre los diferentes sectores económicos, a partir de la escasa información disponible. En prácticamente ningún sector se dispone de información exhaustiva a escala europea, por lo que la información se limita únicamente, en muchos de ellos, a un número de países o a un período de tiempo relativamente corto.

Por último, el capítulo 8 evalúa el por qué de las incertidumbres y aborda el problema de la disponibilidad y la calidad de los datos. También propone posibles indicadores que permitirían ampliar las futuras evaluaciones de los impactos del cambio climático, siempre que el seguimiento y los datos sean los apropiados.

2 El sistema climático y las actividades humanas

2.1 Introducción

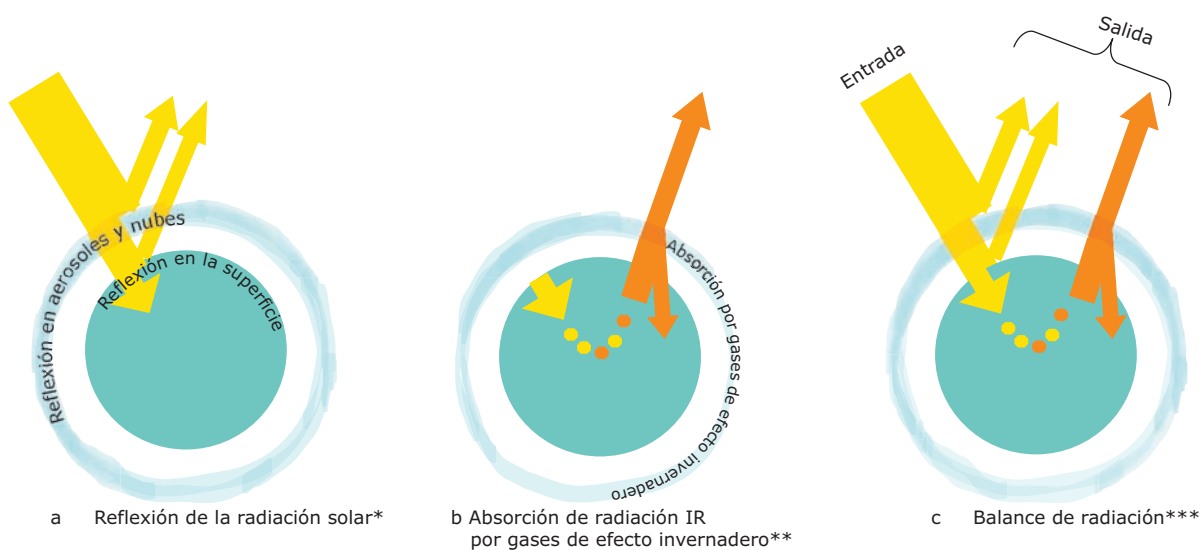
El clima de la tierra está cambiando y según las previsiones seguirá cambiando, lo que comportará múltiples efectos. El cambio climático ha suscitado gran atención por parte de la comunidad científica, los responsables políticos y la ciudadanía en general, y los medios de comunicación le han dispensado una atención prioritaria. El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático ha sido galardonado con el Premio Nobel. La ciudadanía es consciente de la responsabilidad que le incumbe en esta materia y de que muy probablemente el cambio climático incidirá significativamente sobre el modo de vida de las generaciones futuras.

El clima puede definirse en función de la temperatura de la superficie terrestre, de la fuerza del viento y de las corrientes oceánicas y de la presencia de nubes y precipitaciones, y está interrelacionado con múltiples aspectos como el nivel del mar, la cubierta de nieve y la biosfera. El clima puede definirse como el tiempo atmosférico promediado para una zona geográfica muy extensa durante un largo periodo de tiempo, pero la información sobre fenómenos que se desvían de este

comportamiento promedio («fenómenos extremos») también es importante.

El sistema climático evoluciona con el tiempo debido a diversos factores, incluyendo la cantidad de energía que recibe la tierra en forma de radiación solar. Los cambios en la cantidad de radiación que alcanza la superficie terrestre y es absorbida dependen de dos factores principales. En primer lugar, de la cantidad de radiación entrante, que depende a su vez de la posición de la tierra con respecto al sol y de la actividad solar. En segundo lugar, de la composición de la atmósfera terrestre. Determinados componentes atmosféricos, como los aerosoles (humo, polvo, calima) y las nubes, reflejan y reenvían hacia el espacio la radiación solar impidiendo que alcance la superficie terrestre (figura 2.1a). Además, en la tierra existen superficies muy brillantes, como la nieve y los campos de hielo, que reflejan la luz. La tierra se calienta por efecto de la radiación entrante que es finalmente absorbida y el aumento de temperatura origina la dinámica atmosférica, generando vientos, nubes y precipitaciones, y contribuyendo a alimentar las corrientes oceánicas.

Figura 2.1 El «efecto invernadero»



- Nota:**
- * Una parte de la radiación solar entrante es reflejada por los aerosoles y las nubes de la atmósfera y por la superficie terrestre y otra parte es absorbida por la superficie terrestre.
 - ** El calor irradiado desde la superficie terrestre en forma de radiación infrarroja será parcialmente absorbido en parte por los gases de efecto invernadero de la atmósfera.
 - *** Cuando la radiación entrante es igual a la radiación saliente durante varios cientos de años, la superficie terrestre alcanza una temperatura media constante.

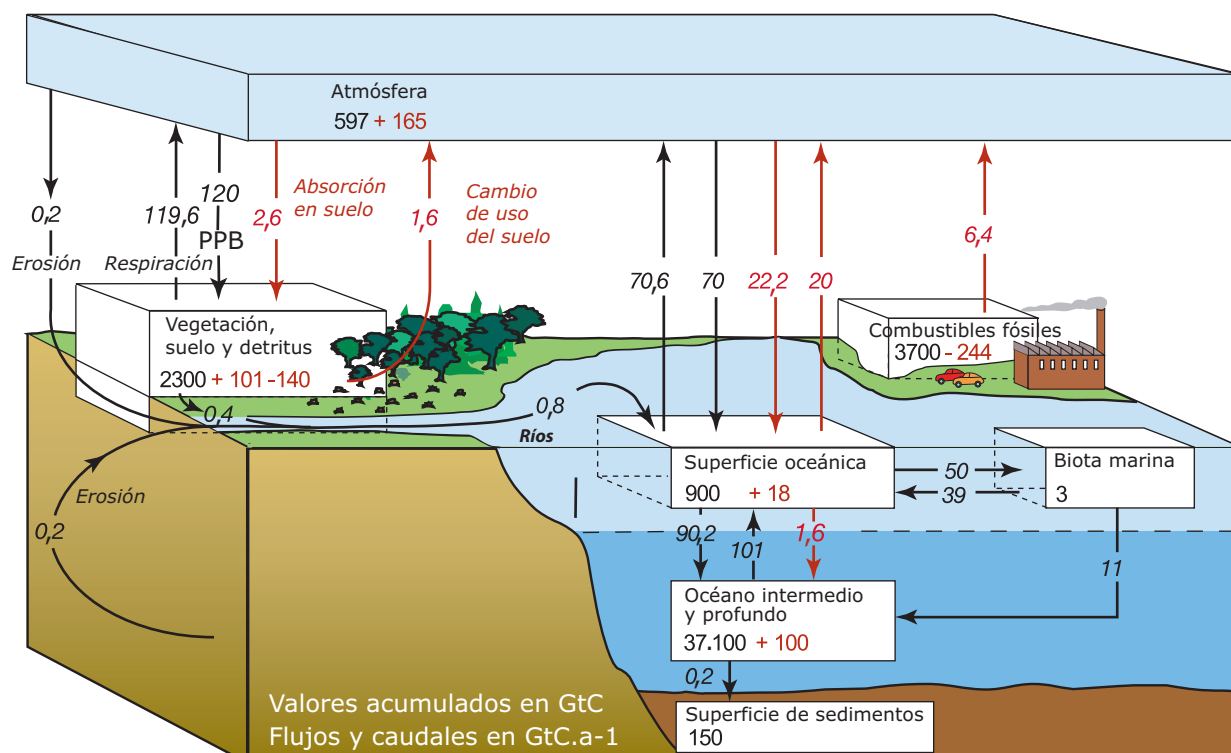
Fuente: Elaborado por Frank Raes (Centro Común de Investigación, CCI) para este informe.

La radiación infrarroja invisible de la tierra debe atravesar la atmósfera antes de perderse en el espacio. Gases como el vapor de agua, el dióxido de carbono o el metano, absorben en parte esta radiación y de este modo retienen el calor dentro del sistema (figura 2.1b). A estos gases se les denomina gases de efecto invernadero porque, en cierto modo, actúan como el cristal de un invernadero. La tierra, al igual que un invernadero, mantendrá un «equilibrio» térmico constante cuando la cantidad de radiación entrante equivalga a la cantidad de radiación saliente (figura 2.1c). Pero si varía la cantidad de gases de efecto invernadero y de aerosoles, la temperatura también variará.

La composición química de la atmósfera está controlada por procesos naturales como las erupciones volcánicas, o por otros vinculados a las actividades humanas, como el uso de combustibles fósiles. Tanto los procesos naturales como los humanos impulsan el intercambio de sustancias específicas como el agua, el carbono (véase la figura 2.2), el nitrógeno y el azufre, entre la atmósfera, los océanos y la tierra. Es importante comprender estos ciclos para entender el cambio climático y la evolución consiguiente.

Las complejas interacciones entre la radiación, los ciclos de las sustancias y otros procesos, originan bucles de retroalimentación que pueden amplificar (retroalimentación positiva) o atenuar (retroalimentación negativa) el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera y de la temperatura. Un ejemplo de retroalimentación negativa es el aumento de CO_2 en la atmósfera, que favorece el crecimiento de la vegetación y provoca una mayor captación atmosférica de CO_2 por parte de dicha vegetación. Un ejemplo de retroalimentación positiva es el calentamiento oceánico, que potencia la transferencia de CO_2 del océano hacia la atmósfera, con el consiguiente efecto invernadero adicional y un mayor calentamiento. El calentamiento incrementará también la evaporación de agua oceánica, y dado que el vapor de agua es un gas de efecto invernadero, ello contribuirá a amplificar el calentamiento inicial. Se trata de un importante mecanismo que amplificará, de hecho casi duplicará, cualquier calentamiento global inicial, incluido el provocado por el hombre. La posible descongelación de suelos que actualmente permanecen permanentemente helados, por ejemplo en Siberia o en el norte de Canadá, constituye otro ejemplo de retroalimentación positiva.

Figura 2.2 El ciclo global del carbono durante el decenio de los noventa



Nota: La concentración de CO_2 atmosférico es el resultado de diversos procesos que producen o eliminan CO_2 , los cuales forman parte del ciclo de carbono, que tiene lugar a través de los varios compartimentos del sistema terrestre. La concentración de CO_2 en la atmósfera ha sido más o menos constante durante los últimos 10.000 años y hasta hace 150 años aproximadamente. Desde entonces, la combustión de combustibles fósiles y la quema de bosques por parte del ser humano (flechas rojas) ha originado un incremento gradual del CO_2 , un aumento del efecto invernadero y un cambio climático.

Fuente: Denman *et al.*, 2007. Publicado con la autorización del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Cuando esto suceda se liberará el metano atrapado en estos suelos, lo que provocará más calentamiento. Otro ejemplo es la fusión del hielo y la nieve debido al aumento de la temperatura, lo que reduce la reflectividad de la superficie terrestre, incrementa la absorción de la luz solar entrante y provoca aún más calentamiento.

Si analizamos los 4.500 millones de años de historia del planeta, las temperaturas constantes han sido la excepción más que la regla. La temperatura media de la tierra siempre ha fluctuado en función de la variabilidad natural, es decir, por los cambios en los factores naturales mencionados anteriormente.

2.2 Los últimos 800.000 años

La figura 2.3 muestra que las condiciones climáticas de la tierra han oscilado aproximadamente cada 100.000 años entre períodos glaciares, en los cuales la temperatura media mundial era unos 5°C inferior a la actual, y períodos interglaciares, durante los cuales era aproximadamente idéntica a la actual. Estas transiciones fueron provocadas por cambios predecibles en la posición del eje de la tierra con respecto al sol, seguidos de mecanismos dentro del sistema terrestre capaces de amplificar los cambios iniciales. Las oscilaciones de la temperatura media global entre eras glaciares y períodos interglaciares se corresponden con los cambios

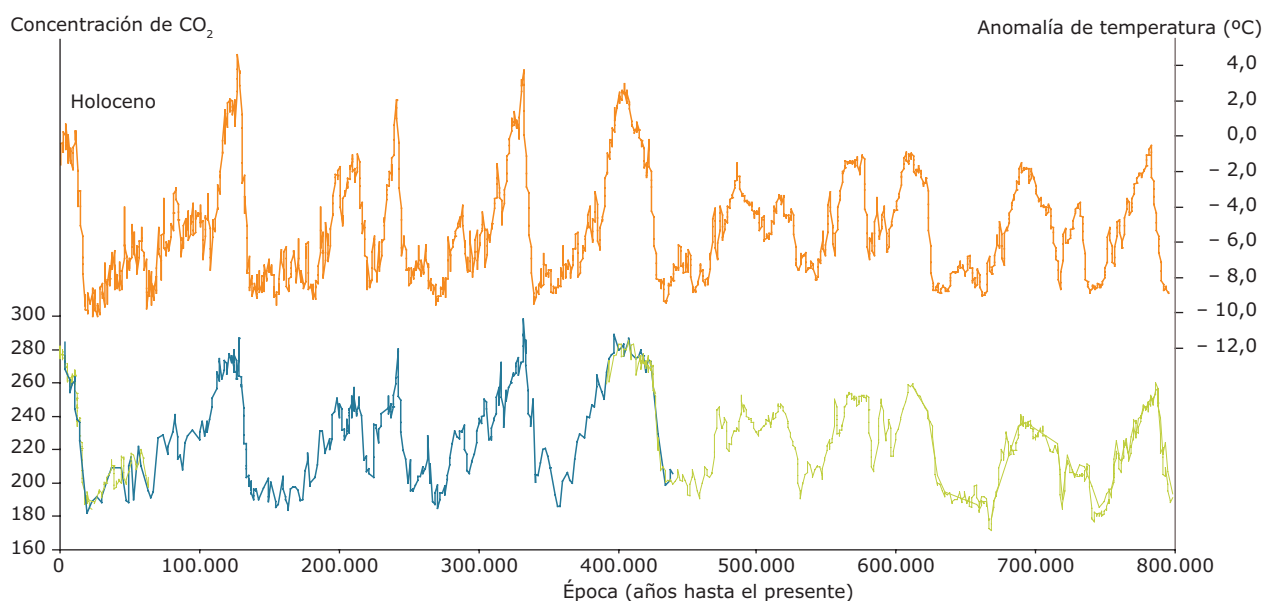
experimentados en las concentraciones de dióxido de carbono asociados al efecto invernadero.

2.3 Los últimos 10.000 años y hasta hace 150 años

La tierra se encuentra actualmente en un período interglaciar que se inició hace aproximadamente 10.000 años. Una serie de observaciones, como por ejemplo las realizadas en núcleos de hielo y anillos de árboles, ha corroborado que las concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles en la atmósfera se mantuvieron relativamente estables durante este período (extremo izquierdo de la figura 2.3). La velocidad de producción de CO₂ en la atmósfera, a través de procesos naturales como la respiración de la vegetación y del suelo, los incendios por causas naturales, la respiración de la vegetación marina y el vulcanismo, ha sido aproximadamente semejante a la velocidad de eliminación de CO₂ mediante la fotosíntesis de la vegetación terrestre y la absorción en los océanos. En consecuencia la concentración atmosférica de CO₂ se ha mantenido constante. Es probable que esta estabilidad climática haya favorecido el desarrollo de la agricultura y, en consecuencia, el establecimiento de asentamientos permanentes y de la civilización.

Durante los últimos 1.300 años, la temperatura media del hemisferio norte se ha mantenido dentro de un

Figura 2.3 Cambios en la temperatura del Antártico y concentración de dióxido de carbono en la atmósfera (CO₂) durante los últimos 800.000 años



Nota: El registro está basado en varios núcleos de hielo de la capa de hielo de la Antártida, de una longitud de algo más de 3 km. Los últimos 10.000 años, es decir, el período interglaciar actual (extremo izquierdo del gráfico) son muy estables.

Fuente: Lüthi *et al.*, 2008.

intervalo de variación de apenas 0,5°C (figura 2.4). Esa variación puede explicarse en función de los cambios experimentados en la energía emitida por el sol, por las emisiones de grandes cantidades de partículas de polvo hacia la atmósfera a causa de las erupciones volcánicas y por las variaciones naturales en el intercambio de dióxido de carbono entre la atmósfera, los océanos y la biosfera.

2.4 Los últimos 150 años

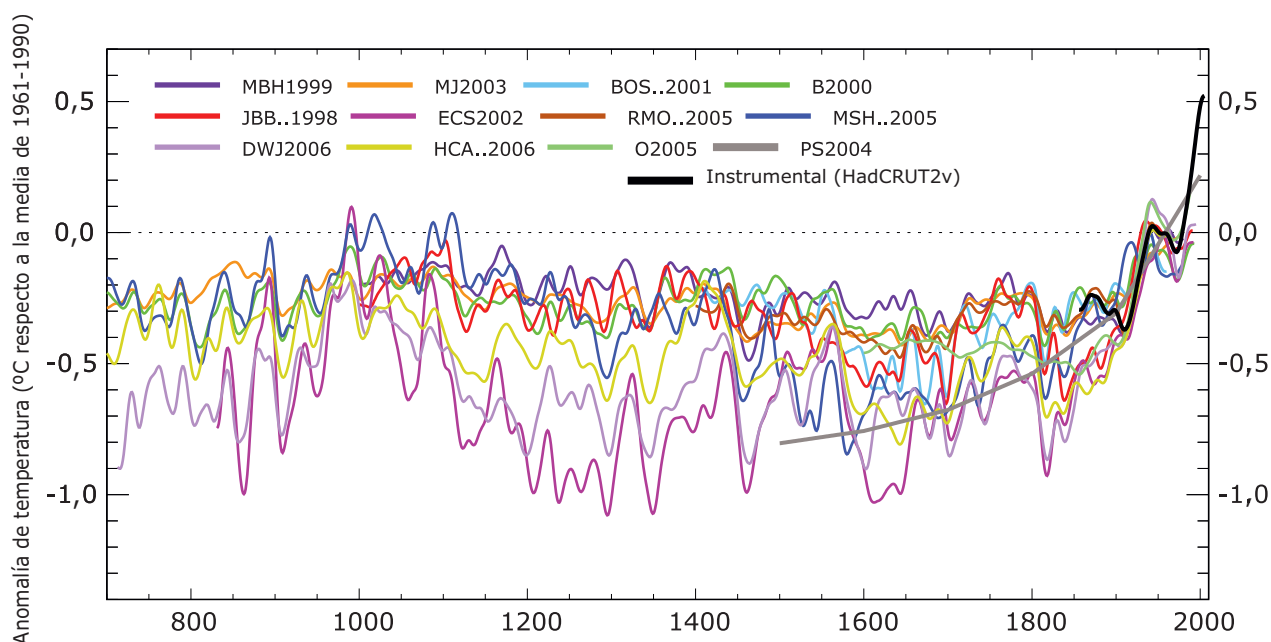
Durante los últimos 150 años, las actividades humanas han alterado considerablemente la composición de la atmósfera. La combustión de combustibles fósiles y la deforestación y, en menor medida, la ganadería practicada a gran escala y el uso de fertilizantes sintéticos, han incrementado las emisiones y la concentración atmosférica tanto de gases de efecto invernadero como de partículas de aerosoles (algunos de los cuales tienen un efecto de enfriamiento), provocando un evidente efecto neto de calentamiento.

Durante los últimos 150 años se han alterado muchas variables climáticas como la temperatura, la precipitación y los fenómenos extremos (véase la sección 5.2). Las figuras 2.4 y 2.5 muestran el excepcional aumento de la temperatura, especialmente registrado durante los últimos cincuenta años, junto

con el aumento observado del nivel del mar y el cambio en la cubierta de nieve. El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en su cuarto informe de evaluación (IPCC, 2007) ha llegado a la conclusión de que: «con un grado de confianza muy elevado (es decir, con una seguridad del 90%), el efecto neto de las actividades humanas desde 1750 ha sido un aumento de la temperatura». El informe señala que el reciente incremento de la temperatura se ha debido principalmente al CO₂ de origen antropogénico y a otras emisiones de gases de efecto invernadero. Los fenómenos naturales también han intervenido hasta cierto punto, pero no se han apreciado cambios naturales suficientes como para explicar las variaciones de temperatura observadas. Todo ello ha llevado a los científicos a definir una nueva era geológica: el Antropoceno (Crutzen *et al.*, 2000).

La concentración de CO₂ en la atmósfera alcanza ahora un nivel de 387 ppm. De acuerdo con los registros sobre el hielo, este valor supera ampliamente el nivel habitual durante los 800.000 últimos años. Puede que ocasionalmente en ese período, la temperatura media global haya superado a la actual, pero las proyecciones sobre CO₂ y temperatura media global para el final de siglo empujan al sistema terrestre, y a la humanidad con él, definitivamente fuera de los parámetros normales y se adentran en un terreno desconocido.

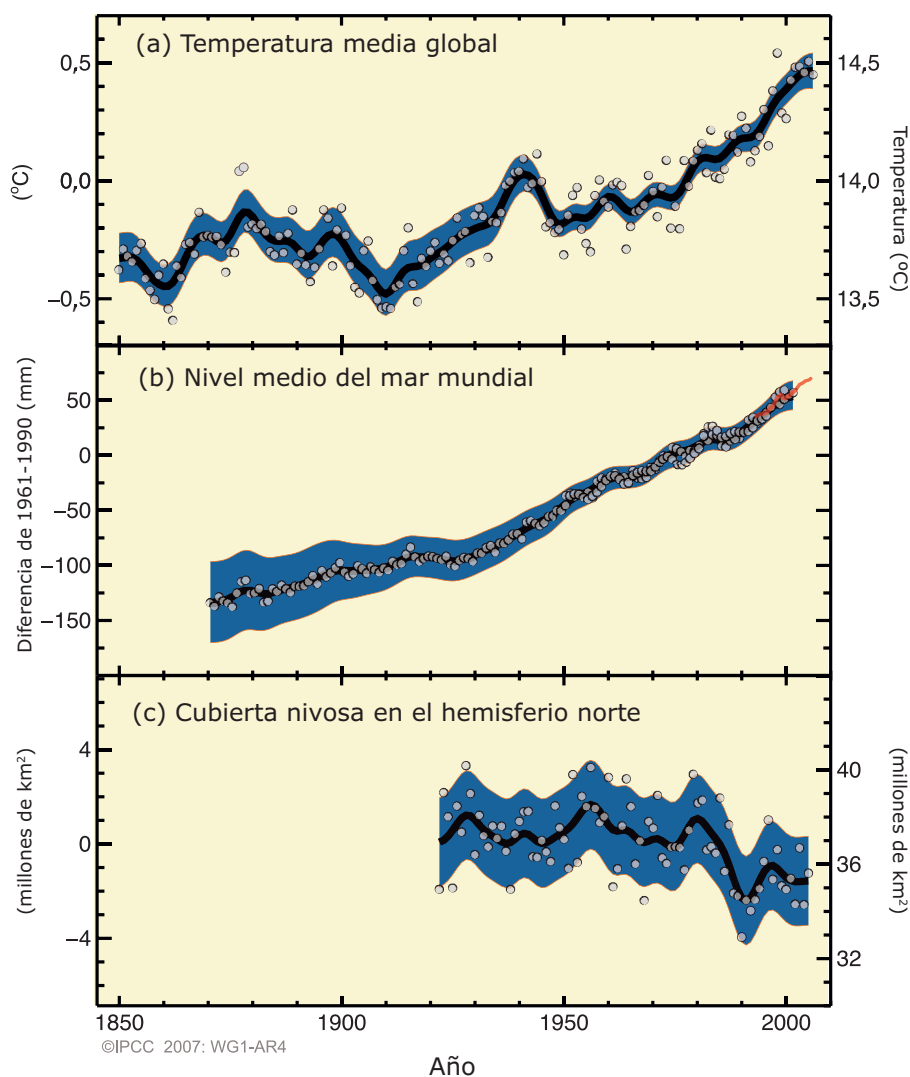
Figura 2.4 Registros de la variación de la temperatura en el hemisferio norte durante los últimos 1.300 años



Nota: Basado en 12 reconstrucciones realizadas con diversos registros sustitutos climáticos indicados en color (por ejemplo, núcleos de hielo, sedimentos de lagos, anillos de árboles, etc.). Los registros instrumentales se muestran en negro. Todas las temperaturas representan anomalías (°C) desde la media de 1961 hasta 1990.

Fuente: Jansen *et al.*, 2007. Publicado con la autorización del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Figura 2.5 Cambios observados en (a) la temperatura media mundial en la superficie, (b) el nivel medio del mar mundial y (c) la cubierta nivosa del hemisferio norte durante marzo y abril



Nota: Todos los cambios son relativos al período 1961–1990. Los círculos representan los valores medios anuales, las curvas suavizadas (de trazo grueso) están basadas en los valores promediados decenalmente, mientras que las áreas sombreadas representan la incertidumbre.

Fuente: IPCC, 2007. Publicado con la autorización del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

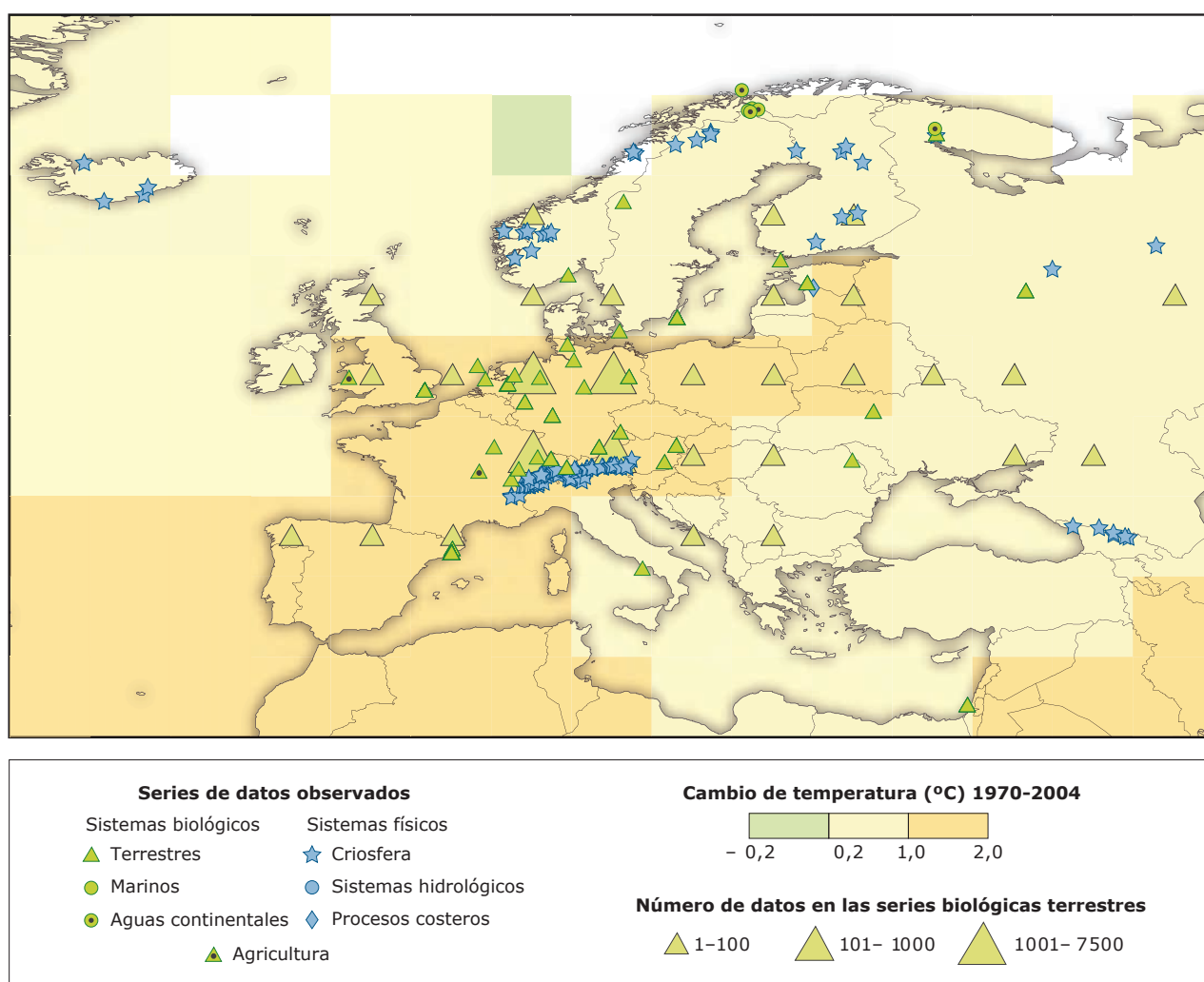
3 Impactos observados del cambio climático

En muchas partes del planeta (mapa 3.2) se han observado cada vez más impactos del cambio climático que además se presentan de forma más temprana, y la comprensión de dichos impactos ha mejorado mucho. En Europa también se han observado cambios en los sistemas biológicos y físicos, y se ha comprobado que el 89 y el 94% de dichos cambios son, respectivamente, coherentes con los esperados por efecto del calentamiento (IPCC, 2007b). Los impactos varían en función de las regiones y los sectores (mapa

3.1). En la parte principal de este informe se ofrece una descripción detallada de los mismos, a partir de los impactos observados y previstos.

El cambio en la composición atmosférica y el consiguiente cambio climático han provocado una serie de impactos en cascada con muchas interrelaciones (véanse algunos aspectos seleccionados de todo el conjunto en la figura 3.1).

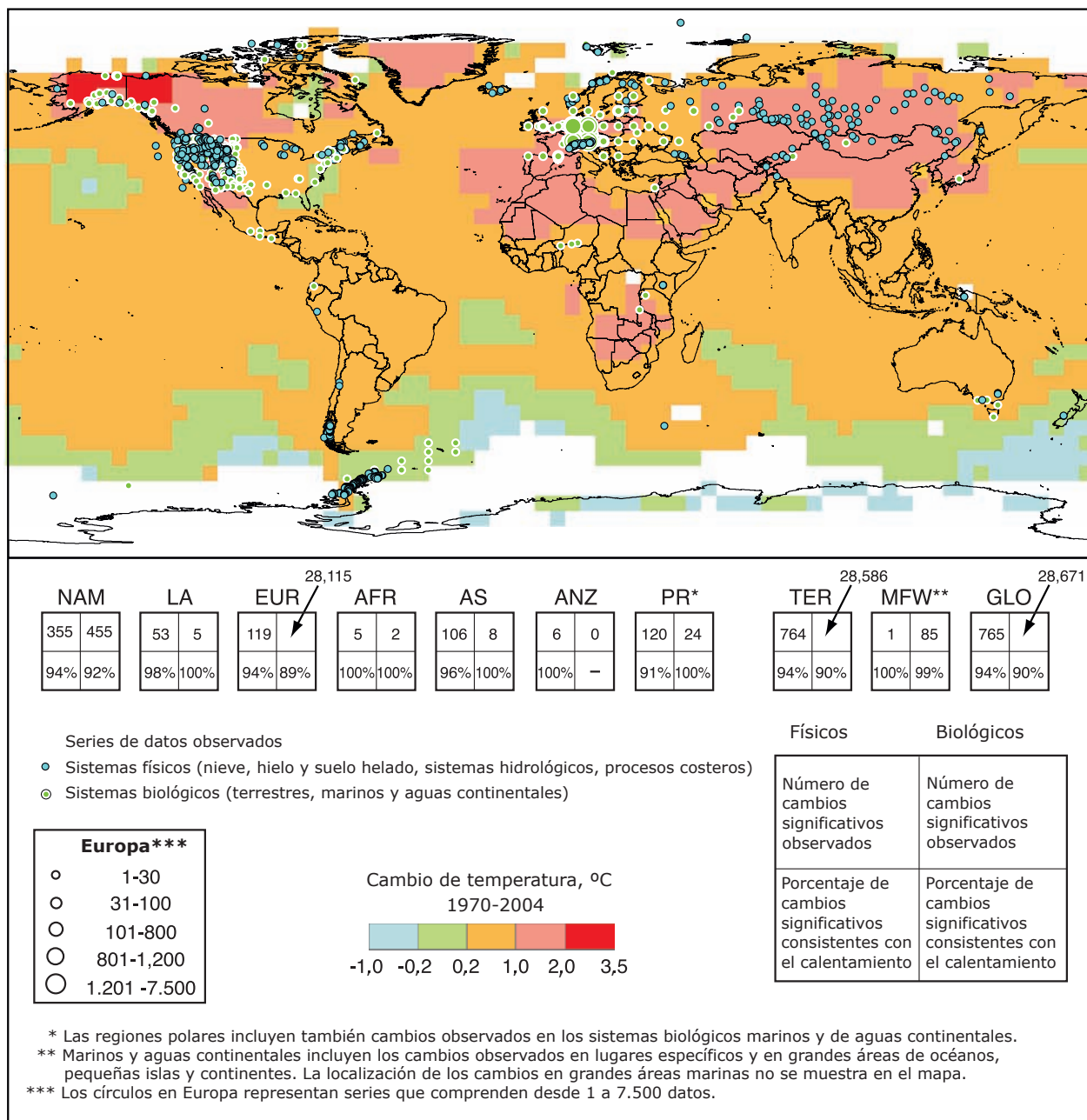
Mapa 3.1 Ubicación de los cambios significativos producidos en los sistemas físicos y biológicos en Europa entre 1970 y 2004



Nota: Presentados junto con los cambios en la temperatura del aire en superficie en Europa durante el período 1970–2004. La mayor parte de los cambios son coherentes con el calentamiento observado. Basado en el primer capítulo del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo II del IPCC.

Fuente: Rosenzweig *et al.*, 2008, basado en Rosenzweig *et al.*, 2007.

Mapa 3.2 Ubicación de los cambios significativos en las series de datos sobre los sistemas físicos y biológicos, así como de los cambios en la temperatura del aire en superficie durante el período 1970–2004.

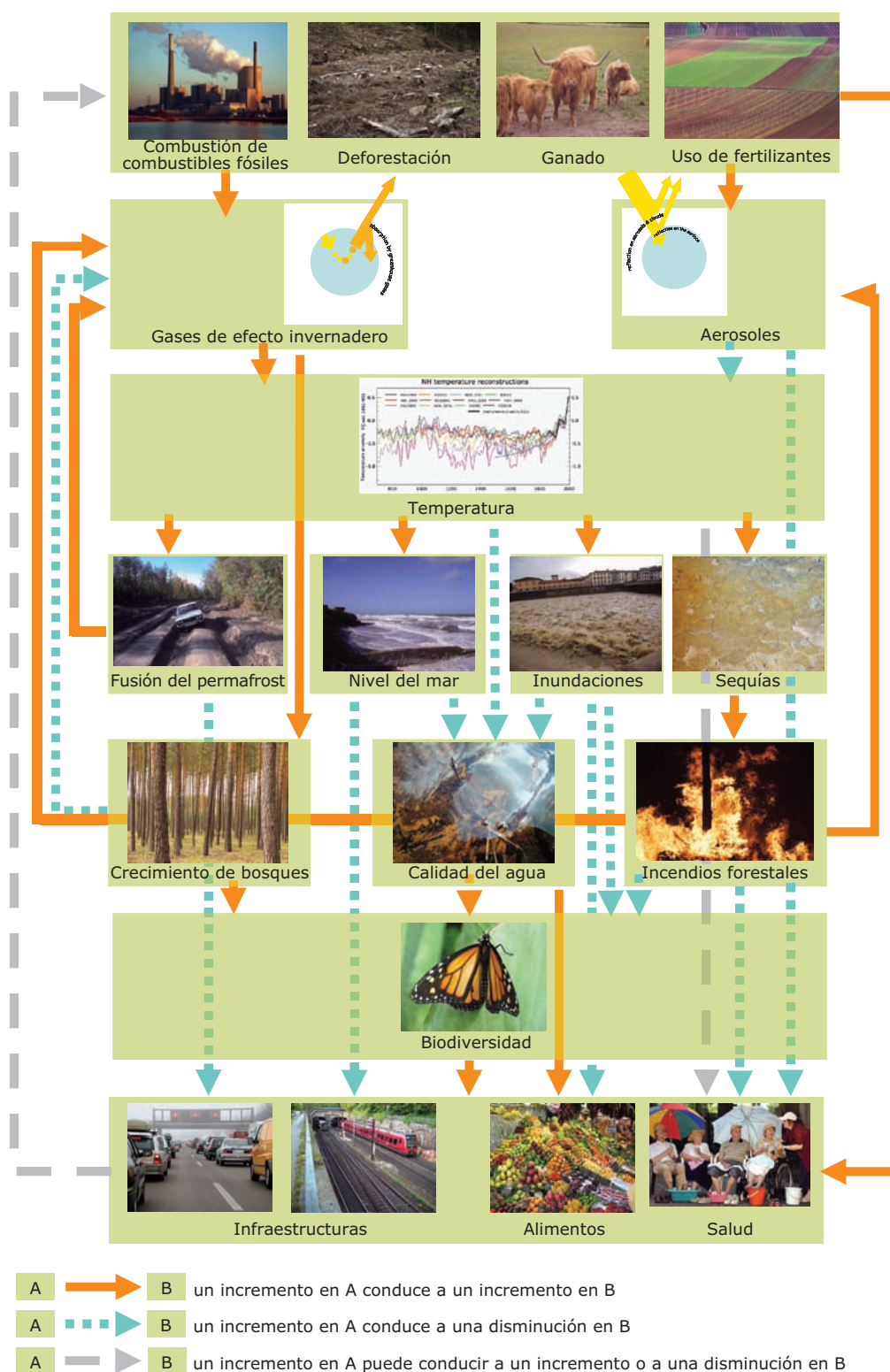


Nota: Basado en los datos del HadCRUT3. Se seleccionó un subconjunto de aproximadamente 29.000 series de datos de un total de 80.000, obtenidas en 577 estudios. Para ello se aplicaron los siguientes criterios: (1) han de abarcar hasta 1990 u otra fecha posterior; (2) han de abarcar un período de 20 años como mínimo; y (3) han de mostrar un cambio perceptible en alguna dirección, según evaluaciones obtenidas de diversos estudios individuales. Cabe señalar que 28.000 de las 29.000 series de datos proceden de estudios europeos. Las áreas en blanco no contienen suficientes datos de observaciones sobre el clima para estimar una tendencia de la temperatura. Las casillas 2 x 2 indican el número total de series de datos que exhiben cambios significativos (hilera superior) y el porcentaje de las que son coherentes con el calentamiento (hilera inferior) para (i) regiones continentales: América del Norte (AN), América Latina (AL), Europa (EUR), África (AFR), Asia (AS), Australia y Nueva Zelanda (ANZ), y regiones polares (RP), y (ii) a escala mundial: terrestres (TER), marinos y de agua dulce (MAD), y globales (GLO). El número de estudios correspondiente a los siete recuadros regionales no coincide con los totales globales (GLO), ya que en todas las regiones, excepto las polares, no se incluyen los sistemas marinos y de agua dulce (MAD). En el mapa no se indica la ubicación de los cambios marinos experimentados en grandes superficies.

Fuente: Parry *et al.*, 2007. Publicado con la autorización del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Se han confirmado muchos impactos y conexiones entre ellos cada vez más con observaciones como las recogidas en este informe. En la figura 3.1 también se muestra la existencia de bucles de retroalimentación

positiva y negativa. En el capítulo 5 se presentan los indicadores más relevantes de los impactos del cambio climático en Europa.

Figura 3.1 Relaciones seleccionadas entre los impactos del cambio climático incluidos en este informe

Nota: La disponibilidad de combustibles fósiles baratos y la producción en serie de alimentos han originado un aumento directo de la calidad de vida, una mejora de la salud y mejores infraestructuras (flechas naranjas hacia la derecha). No obstante, el uso de combustibles fósiles (para la generación de electricidad, el transporte, la calefacción y la industria), la deforestación y la agricultura emiten gases de efecto invernadero que provocan un cambio climático con diversos impactos y retroalimentaciones positivas y negativas (varias flechas naranjas y azules). Una política acertada de mitigación del calentamiento de la tierra constituiría una retroalimentación de control negativa (flecha gris apuntando hacia la izquierda), aunque también es preciso aplicar acciones de adaptación en los sectores y las regiones vulnerables.

Fuente: Elaborado por Frank Raes (Centro Común de Investigación, CCI) para este informe.

4 Impactos del cambio climático: lo que nos deparará el futuro

4.1 Escenarios

Gracias a nuestros conocimientos cada vez más precisos sobre el cambio climático observado y sobre sus procesos de retroalimentación, ya pueden evaluarse de forma sistemática los impactos futuros y los riesgos asociados para distintos sectores y regiones, así como los niveles previstos de aumento de las temperaturas medias anuales en el mundo (IPCC, 2007b).

Tanto a escala mundial como europea, las evaluaciones más recientes de los impactos del cambio climático se basan principalmente en el Informe especial sobre escenarios de emisiones (IE-EE) (Nakićenović *et al.*, 2000) (véase el recuadro 4.1). Estos escenarios describen las diferentes formas de evolución que puede seguir el planeta, aunque cabe señalar que carecen de políticas climáticas explícitas.

Los cambios previstos en la temperatura y la precipitación varían de acuerdo con los distintos escenarios del IE-EE, observándose mayores cambios en los escenarios con más emisiones. De todos ellos, el escenario A2 es el que presenta el nivel de emisiones más elevado, el A1B y el B2 presentan un nivel de

emisiones intermedio, situados entre los límites inferior y superior y el B1 es el que presenta el menor nivel de emisiones.

Téngase en cuenta que muchos de los indicadores incluidos en este informe muestran los impactos previstos para Europa para los escenarios A1B, A2, B1 o B2. Las diferencias en los cambios previstos en las temperaturas y la precipitación (y los impactos conexos) también se deben a la utilización de modelos climáticos distintos. En términos generales, los modelos climáticos se basan en unos principios físicos, químicos y biológicos establecidos y se ha demostrado que reproducen las características observadas en la climatología reciente y el cambio climático en el pasado. No obstante, los modelos climáticos presentan diferencias en función de la complejidad y las hipótesis de partida. Como resultado, las proyecciones climáticas pueden diferir considerablemente, especialmente a escala regional, pero también en lo que a las estaciones se refiere. Además, las proyecciones sobre determinadas variables climáticas (por ejemplo, la temperatura) merecen más confianza que otras (por ejemplo, la precipitación) (IPCC, 2007a).

Recuadro 4.1 El Informe especial sobre escenarios de emisiones (IE-EE) del IPCC

A1. Los escenarios agrupados dentro de la familia A1 describen un mundo futuro marcado por un crecimiento económico muy rápido, una población global que alcanzará un máximo a mediados de siglo para disminuir a continuación y por una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Las principales temáticas subyacentes son la convergencia entre diversas regiones, la creación de las capacidades y un incremento de las interacciones culturales y sociales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a ingresos per cápita. Los escenarios agrupados dentro de la familia A1 evolucionan hacia tres grupos que describen pautas alternativas del cambio tecnológico en el sistema energético, diferenciadas por su orientación tecnológica: alto consumo de combustibles de origen fósil (A1FI), fuentes de energía que no son de origen fósil, (A1T), o utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B) (donde el término «equilibrada» indica que no dependerá excesivamente de un tipo de fuente de energía, en el supuesto de que todas las fuentes de suministro de energía y todas las tecnologías de uso final experimenten mejoras similares).

A2. Los escenarios agrupados dentro de la familia A2 describen un mundo muy heterogéneo. La temática subyacente es la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en las diferentes regiones convergen muy lentamente, lo que se traduce en un permanente incremento

de la población. El desarrollo económico se orienta principalmente a nivel regional, y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otros escenarios.

B1. Los escenarios agrupados dentro de la familia B1 describen un mundo convergente con la misma población global, cuyo auge tiene lugar a mediados de siglo y a continuación disminuye, como en A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientadas hacia una economía de servicios y de la información, acompañados de un uso menos intensivo de materiales y de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. El acento recae en las soluciones globales a la sostenibilidad económica, social y ambiental, incluida una mejora de la igualdad, pero sin iniciativas climáticas adicionales.

B2. Los escenarios agrupados dentro de la familia B2 describen un mundo en el que la prioridad recae en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo en el que la población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y donde el cambio tecnológico es menos rápido y más diversificado que en B1 y A1. Aunque estos escenarios también se orientan hacia la protección ambiental y la igualdad social, se centran principalmente en los niveles local y regional.

Fuente: IPCC, 2001.

Las incertidumbres que depara la modelización climática, en particular para Europa y para los indicadores presentados en este informe, se explican con mayor detalle en el capítulo 8.

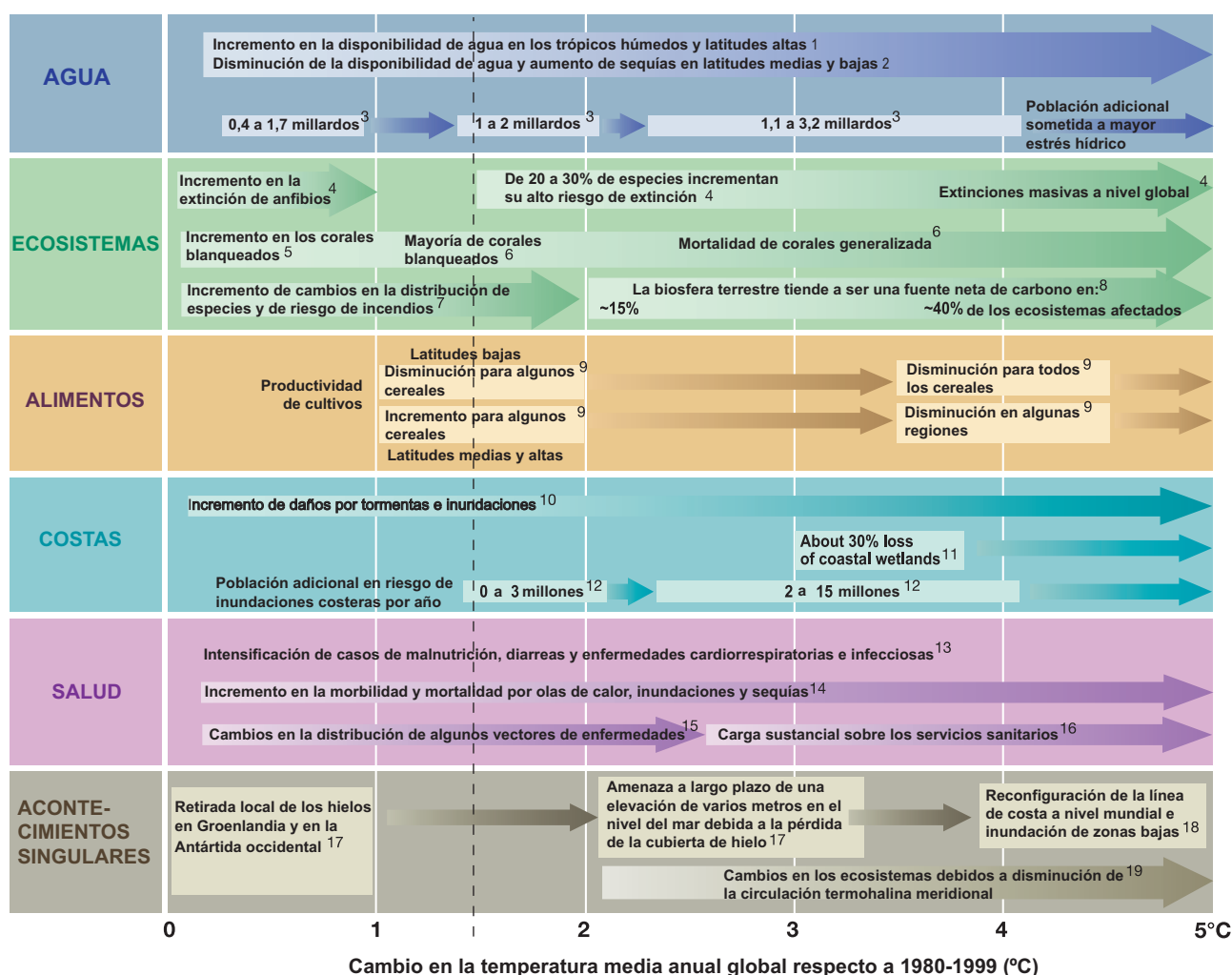
4.2 Impactos previstos del cambio climático mundial

El agua, los ecosistemas, la alimentación, las zonas costeras y la salud son sectores vulnerables clave que sufrirán impactos progresivamente más intensos a medida que aumentan los niveles de temperatura previstos (véase la figura 4.1). El tipo de impactos dominantes y los riesgos asociados varían de acuerdo con las diferentes regiones (figura 4.2). Desde un

punto de vista global, las regiones más vulnerables están situadas en países en vías de desarrollo, donde la capacidad de adaptación es menor. Los impactos en estas regiones pueden repercutir indirectamente en Europa, como consecuencia del vínculo existente entre los sistemas económicos y los movimientos migratorios. Estos efectos no han sido cuantificados y tampoco se abordan con mayor detalle en este informe.

Para limitar los impactos y guiar la formulación de políticas, la UE ha adoptado un objetivo climático a largo plazo consistente en un incremento de la temperatura media global de 2°C por encima de los niveles preindustriales (o aproximadamente 1,5°C por encima de los niveles de 1990) (recuadro 4.2). Este objetivo persigue limitar los riesgos, pero no evitar

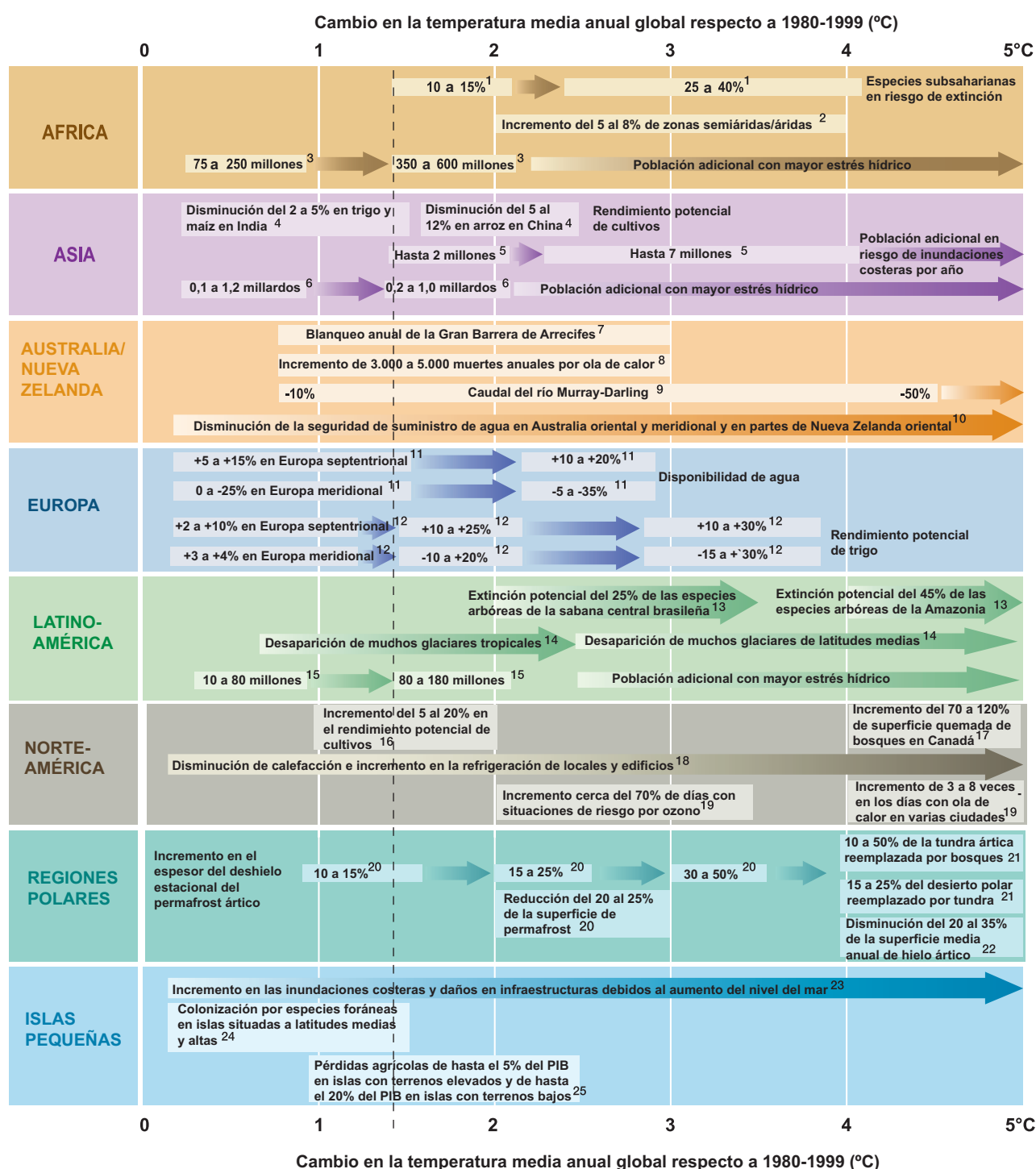
Figura 4.1 Ejemplos de impactos mundiales previstos en varios sectores en relación con cambios en el clima asociados a distintos grados de aumento de la temperatura media mundial en superficie en el siglo XXI



Nota: Las casillas indican el nivel de incremento de temperatura con el que guarda relación el impacto. Las flechas indican un incremento de los impactos con un aumento del calentamiento. En este resumen no se ha tomado en consideración la adaptación al cambio climático. La línea negra discontinua indica el objetivo de la UE de un aumento máximo de la temperatura de 2°C por encima del nivel preindustrial (o de 1,5°C por encima del nivel de 1990). Los superíndices indican las fuentes de datos incluidas en las secciones individuales del informe del Grupo de Trabajo II «Impactos, adaptación y vulnerabilidad» (IPCC, 2007b)

Fuente: Parry et al., 2007. Publicado con la autorización del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Figura 4.2 Ejemplos de impactos regionales previstos en relación con cambios en el clima asociados a distintos niveles de aumento de la temperatura media mundial en superficie en el siglo XXI



Nota: Las casillas indican el intervalo de temperatura con el que guarda relación el impacto. Las flechas indican un incremento de los impactos con un aumento del calentamiento. En este resumen no se ha tomado en consideración la adaptación al cambio climático. La línea negra discontinua indica el objetivo de la UE de un aumento máximo de la temperatura de 2°C por encima del nivel preindustrial (o de 1,5°C por encima del nivel de 1990). Los superíndices corresponden a las fuentes de datos, incluidas en las secciones individuales del informe del Grupo de Trabajo II «Impactos, adaptación y vulnerabilidad» (IPCC, 2007 b).

Fuente: Parry et al., 2007. Publicado con la autorización del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Recuadro 4.2 Objetivo de la UE de limitar el aumento de la temperatura mundial a 2°C por encima del nivel preindustrial

El límite mundial de temperatura de la UE, 2°C por encima del nivel preindustrial fue fijado originalmente en 1996, antes de las negociaciones de Kioto, y posteriormente reafirmado por el Consejo de Medio Ambiente (2003) y el Consejo Europeo (2005 y 2007). El límite se dedujo a partir de las evidencias disponibles en la época y de la preocupación suscitada por el hecho de que las velocidades de adaptación de los ecosistemas son limitadas. Desde 1996, nuestros conocimientos sobre la vulnerabilidad frente al cambio climático y los impactos que comporta han mejorado considerablemente. Según el cuarto informe de evaluación del IPCC, se prevé que algunos impactos serán a partir de ahora más fuertes y se producirán a temperaturas por debajo de las evaluadas en el tercer informe de evaluación del IPCC (2001). Además, en algunos casos, los impactos aumentarán progresivamente, mientras que en otros, como la mortalidad provocada por olas de calor, la pérdida de arrecifes de coral y el deshielo del permafrost, se puede establecer un límite o umbral térmico crítico. Los cambios y los impactos climáticos previstos presentan variaciones regionales, de manera que algunos umbrales son regionales más que globales. Deberán tenerse en cuenta ambos tipos de impactos a la hora de evaluar el objetivo de la UE.

Los aumentos de temperatura pueden provocar retroalimentaciones climáticas que aceleran enormemente el cambio climático, provocan cambios irreversibles en el sistema climático o agravan súbita y rápidamente determinados impactos, requiriendo velocidades de adaptación que no es posible alcanzar. Todavía no se sabe con certeza a qué cambios de temperatura se superarían estos umbrales. Por encima de 2°C respecto a los niveles preindustriales aumenta el riesgo de que se produzcan una serie de fenómenos

graves a gran escala, como por ejemplo la interrupción de la circulación termohalina.

Sin embargo, ciertos umbrales podrían superarse con un aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C, por ejemplo la fusión de la capa de hielo de Groenlandia, que podría iniciarse con un aumento de la temperatura mundial de entre 1 y 2°C y podría ser irreversible si dicho aumento se mantiene durante un período de tiempo suficiente.

En Europa, las proyecciones señalan también un incremento de la magnitud de los impactos, a medida que aumentan las temperaturas globales. Un incremento inferior a 2°C por encima de los niveles preindustriales puede permitir la adaptación al cambio climático de diversos sistemas humanos a un coste económico, social y ambiental moderado. La capacidad de numerosos ecosistemas naturales para adaptarse a un cambio climático rápido es limitada y podría superarse mucho antes de alcanzar los 2°C. Más allá de esos 2°C, sólo cabe esperar un aumento importante de la vulnerabilidad, impactos considerables, necesidades de adaptación muy costosas, un riesgo inaceptablemente alto y creciente de sufrir consecuencias irreversibles a gran escala y un aumento considerable en la incertidumbre de los impactos.

Es necesario seguir investigando para cuantificar mejor los riesgos que entraña el hecho de superar el objetivo de 2°C y definir la manera de alcanzarlo (véase igualmente la siguiente sección). A fecha de hoy, el objetivo se mantiene a un nivel razonable más allá del cual el riesgo de impactos graves aumentaría significativamente, reconociendo que no evitará todos los impactos.

Fuentes principales: IPCC, 2007a, 2007b, 2007c; CE, 2008.

todos los impactos globales (véanse las figuras 4.1 y 4.2 en las que el objetivo de la UE se representa mediante una línea discontinua).

4.3 Los riesgos de un cambio climático no lineal

Los impactos con una baja probabilidad de incidencia pero con unas consecuencias potencialmente muy graves constituyen un tipo de riesgo especial, especialmente difícil de abordar desde el punto de vista político (véanse ejemplos en el recuadro 4.3). En general, dichos impactos evolucionan con lentitud, pero hay una serie de «puntos de inflexión» a partir de los cuales podrían producirse grandes y rápidas alteraciones en el comportamiento de los sistemas naturales o sociales. Varios cambios no lineales de esta naturaleza guardan relación con retroalimentaciones positivas del sistema climático y, en consecuencia, pueden acelerar el cambio climático. El objetivo de la UE consistente en limitar el aumento máximo de la temperatura a 2°C por encima de los niveles preindustriales perseguía también reducir la posibilidad de un cambio climático no lineal y de consecuencias potenciales muy graves.

4.4 La limitación de los daños mediante la mitigación y la adaptación

La sociedad debe evitar lo incontrolable — mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero — y controlar lo inevitable — mediante medidas de adaptación (Grupo de expertos sobre cambio climático, 2007). Conseguir acuerdos a través de unas negociaciones internacionales que permitiesen evitar interferencias peligrosas con el sistema climático sería evidentemente una acción que contribuiría a potenciar la capacidad de control y a limitar lo inevitable.

La UE persigue como objetivo a largo plazo un aumento máximo de la temperatura media mundial de 2°C por encima de los niveles preindustriales, lo que limitará los riesgos pero no evitará todos los impactos. No obstante, si se limitan las temperaturas al objetivo fijado por la UE, será posible evitar numerosos impactos. La mayor parte de los estudios en los que se han basado los gráficos (figuras 4.1 y 4.2) no tienen en cuenta la adaptación de una manera explícita, de modo que la adaptación podría reducir aún más los riesgos y los costes económicos. Ahora bien, la adaptación también tiene sus límites, en función del tipo, la magnitud y el

Recuadro 4.3 ¿Cuáles son los riesgos de un cambio climático no lineal?

El IPCC ha identificado el riesgo de no linealidades o discontinuidades a gran escala como uno de cinco «motivos de preocupación» y merece especial atención debido a que sus consecuencias pueden ser potencialmente muy graves para el mundo, incluida Europa. ¿Qué es un cambio no lineal o abrupto? Si un sistema tiene más de un estado de equilibrio, puede experimentar transiciones a estados estructuralmente distintos. Siempre y cuando se sobrepase un «punto de inflexión», el desarrollo del sistema ya no viene determinado por la escala temporal del cambio forzado sino por su dinámica interna, que puede resultar mucho más rápida que el cambio forzado (IPCC, 2007a). Se han identificado un gran número de puntos de inflexión. A continuación se abordan algunos de ellos, con consecuencias potencialmente graves para Europa.

La posible fusión de la capa de hielo de la Antártida occidental y de Groenlandia constituye una de las discontinuidades a gran escala relevantes para Europa. Existe un consenso razonable acerca de que una estabilización del calentamiento de la tierra a una temperatura de 1 a 2°C por encima de las temperaturas actuales (o de 2 a 3°C por encima del nivel preindustrial) constituye un umbral por encima del cual tendría lugar una considerable elevación del nivel del mar a causa de un deshielo, al menos parcial, de ambas capas de hielo (IPCC, 2007a, 2007b).

En tal caso, el nivel del mar se podría elevar durante los próximos 1.000 años o más en una media de 7 m a causa de la aportación de Groenlandia y de aproximadamente 5 m a causa de la aportación de la capa de hielo de la Antártida occidental (IPCC, 2007a), algo que alteraría completamente el litoral mundial. Cabe señalar que la elevación del nivel del mar no se producirá de una forma homogénea en todo el planeta debido a los patrones de circulación oceánica, a los movimientos de la tierra y a factores de densidad y de gravitación.

El nivel de consenso es menor con respecto a otros efectos no lineales, por ejemplo lo que puede ocurrir con la circulación oceánica. Una ralentización de la circulación termohalina, o, análogamente, de la circulación meridional de retorno, podría compensar las tendencias de calentamiento de la tierra en Europa, aunque podría tener consecuencias graves e inesperadas en el comportamiento del sistema climático mundial y agravar los impactos en otras zonas. La emisión progresiva de metano derivada de la fusión del permafrost y la desestabilización de los hidratos, junto con unas rápidas transiciones de unos tipos de ecosistemas a otros a causa del clima también son ejemplos de posibles efectos no lineales (IPCC, 2007b). Los conocimientos sobre estos procesos todavía son limitados y, en términos generales, se considera que la probabilidad de que se produzcan grandes consecuencias en el siglo actual es reducida.

ritmo al que se produce el cambio. Por otro lado, las cifras llegan hasta 2100, pero los cambios climáticos y sus impactos no se habrán detenido para esa fecha.

Debido a las inercias inherentes al sistema climático, los efectos de las emisiones actuales y las que se produzcan hasta final de siglo persistirán durante los siglos venideros. Entre otras, estas consideraciones ilustran la dimensión profundamente ética que adquiere el problema del cambio climático cuando se atiende a sus impactos sobre las generaciones actuales y las futuras. Además de la dimensión ética, también hay que tener en cuenta la dimensión económica. Es mucha la incertidumbre respecto al coste asociado a la adopción o no de medidas. Los límites que se apliquen a la cuantificación y a la evaluación jugarán un papel esencial. Los efectos económicos del cambio climático para Europa son inciertos, pero pueden ser muy significativos (AEMA, 2007). Por tanto, lo que se entienda por «interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático» (artículo 2 del CMNUCC) es una cuestión más política que científica.

Una forma de abordar el fundamento de las diferentes estrategias de respuesta al cambio climático consiste en comparar los procedimientos de mitigación con los de adaptación. La mitigación persigue, principalmente, evitar los graves impactos asociados a los cambios prolongados y a más largo plazo en el sistema climático, así como limitar los riesgos de las discontinuidades a gran escala en dicho sistema. El objetivo principal de la adaptación consiste en reducir

los impactos negativos e inevitables ya a más corto plazo, reduciendo la vulnerabilidad a la variabilidad climática actual y aprovechando las oportunidades que brinda el cambio climático.

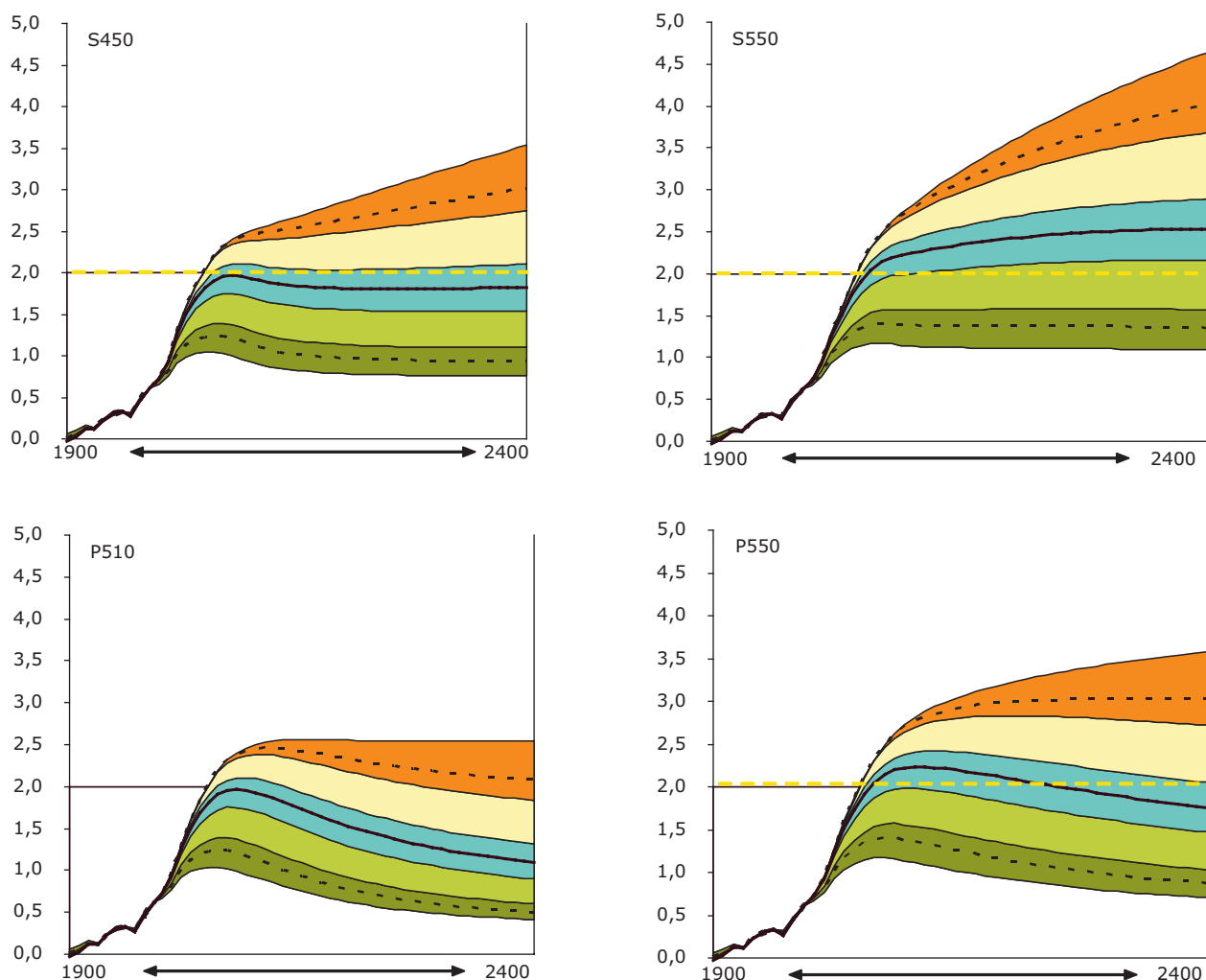
Para tener un 50% de probabilidades de alcanzar el objetivo climático a largo plazo fijado por la UE, las concentraciones de GEI a escala mundial tendrían que estabilizarse en 450 ppm equivalentes de CO₂ (de las cuales, 400 ppm aproximadamente son CO₂; véase también den Elzen y Meinshausen, 2005; van Vuuren *et al.*, 2006; den Elzen *et al.*, 2007; véase la figura 4.3). Los perfiles específicos de emisiones mundiales coherentes con el objetivo de la UE dependen de hipótesis que incluyen la sensibilidad climática y la posible aceptación de unos valores máximos temporales por encima del objetivo. El objetivo de estabilización de 450 ppm equivalentes de CO₂ se considera, en general, muy ambicioso, aunque viable desde un punto de vista técnico y macroeconómico (IPCC, 2007c). Las emisiones mundiales de GEI tendrán que alcanzar su valor máximo durante los próximos diez a quince años, y deben ir seguidas de unas reducciones sustanciales de las emisiones mundiales de al menos un 50% por debajo de los niveles de 1990 para 2050. Para alcanzar estas grandes reducciones de emisiones, será necesario utilizar urgentemente y a gran escala una amplia gama de tecnologías actualmente disponibles o cuya comercialización está prevista para las décadas venideras. Se debe evitar la dependencia de tecnologías que emiten un exceso de carbono, para lo que se requiere un importante cambio en las pautas de inversión.

Los costes de la mitigación todavía no se conocen con certeza. El hecho de permitir o no un «incumplimiento» temporal del objetivo de estabilización acarrea importantes implicaciones en términos de costes y viabilidad (van Vuuren *et al.*, 2006), aunque es probable que los costes aumentarían con rapidez en los niveles de estabilización inferiores.

En algunos sectores y regiones, los costes podrían ser elevados y para adoptar una respuesta de atenuación eficaz a nivel mundial sería necesario hacer frente a obstáculos políticos, sociales y de comportamiento.

Existen señales alentadoras de una actuación internacional encaminada a evitar los impactos del cambio climático a largo plazo. Cabe señalar en este sentido el Plan de Acción de Bali (CMNUCC 2007), cuyo propósito es alcanzar un acuerdo global sobre el cambio climático post 2012 a finales de 2009 en Copenhague, así como el paquete de medidas de la UE sobre cambio climático y energía de 2008: reducir las emisiones de GEI en un 20% y lograr que las energías renovables representen el 20% del consumo de energía total de la UE en 2020 (CE, 2008).

Figura 4.3 Las implicaciones probabilísticas del aumento de la temperatura mundial hasta el año 2400



Nota: Incremento de temperatura respecto a los niveles preindustriales para unas trayectorias que se estabilizan con unos niveles de concentración de 450 y 550 ppm equivalentes de CO₂ (fila superior) y para trayectorias que alcanzan un valor máximo con unos niveles de concentración de 510 y 550 ppm respectivamente (fila inferior). Las trayectorias del modelo FAIR-SIMCaP que se muestran corresponden al escenario de referencia B2 basado en una sensibilidad climática que asume un intervalo de incertidumbre de 1,5 a 4,5°C para la misma (TIE del IPCC), siendo el intervalo de confianza de una distribución logarítmica normal del 90%. Se muestra también un valor medio (línea continua gruesa) y los límites del intervalo de confianza del 90% (líneas discontinuas), así como los percentiles 1, 10, 33, 66, 90, y 99% (límites de las áreas sombreadas). La función de densidad de probabilidad se basa en Wigley y Raper, 2001.

Fuente: Den Elzen *et al.*, 2007.

5 Una evaluación basada en indicadores

5.1 Introducción

General

En este informe se han seleccionado aproximadamente cuarenta indicadores para describir el estado del clima y los impactos del cambio climático sobre una serie de sistemas naturales y sociales en Europa. Estos indicadores se subdividieron a su vez en nueve categorías diferentes, que se presentan a continuación en este capítulo:

- atmósfera y clima;
- criosfera (glaciares, nieve y hielo);
- biodiversidad marina y ecosistemas;
- cantidad de agua;
- calidad del agua dulce y biodiversidad;
- ecosistemas terrestres y biodiversidad;
- suelo;
- agricultura y silvicultura;
- salud humana.

Los indicadores fueron seleccionados debido a la posibilidad de cuantificarlos, a su nexo causal con el cambio climático, a su relevancia política, a la existencia de series cronológicas históricas (en la mayoría de los casos de al menos 20 años), a la disponibilidad de datos relativos a buena parte de Europa (lo ideal hubiese sido de toda Europa) y a su transparencia (es decir, fácilmente comprensibles para los responsables políticos y la ciudadanía interesada en general).

Se barajó la inclusión de otros muchos indicadores de impacto, descartados al fin porque, en muchos casos, resultaba aventurado atribuir una tendencia al cambio climático o por la escasez de datos disponibles. De disponer de más información, será necesario volver a plantearse la inclusión en un próximo informe de varios de estos indicadores, para obtener una perspectiva más completa de los impactos del cambio climático en el medio ambiente y la sociedad (véase también el capítulo 8). Cuando ha sido factible se han incorporado indicadores procedentes de conjuntos de indicadores nacionales. Otros indicadores fueron descartados porque los datos no correspondían a toda Europa o

sólo eran pertinentes en el marco de problemáticas nacionales.

Vínculos con otros indicadores de la AEMA

Cabe entender los indicadores presentados en este informe como parte de un conjunto más amplio empleado por la AEMA para presentar las principales relaciones en la cadena de causalidad para el medio ambiente y la sostenibilidad: desde las fuerzas motrices socioeconómicas hasta las presiones, el estado del medio ambiente, los impactos y las respuestas sociales.

La AEMA ha instaurado un conjunto básico de indicadores por tres motivos esenciales: establecer unos criterios sólidos y manejables para la notificación basada en indicadores, mejorar la calidad y la cobertura geográfica de los flujos de datos, especialmente los flujos de datos preferentes de Eionet, y racionalizar la aportación de AEMA y de Eionet a otras iniciativas europeas y mundiales en materia de indicadores, como los indicadores estructurales y los indicadores de desarrollo sostenible de la UE. El conjunto básico de indicadores (CBI) de la AEMA está integrado por 37 indicadores que representan 10 categorías diferentes. La categoría «cambio climático» contiene dos indicadores relevantes relacionados con el impacto (temperatura mundial/europea y concentración de gases de efecto invernadero) que son plenamente coherentes con los indicadores correspondientes incluidos en este informe (para más información, consúltese <http://themes.eea.europa.eu/IMS/CSI>).

Otros conjuntos de indicadores específicamente relevantes son los relacionados con la biodiversidad, las aguas continentales y el medio marino. Varios de los indicadores englobados bajo dichas temáticas guardan relación con los indicadores presentados en este informe. En estos casos, se ha procurado mantener la mayor coherencia posible entre los indicadores incluidos en este informe y las fuentes de datos, las metodologías y los mensajes clave.

Respecto a la biodiversidad, el proceso fundamental es el SEBI 2010 (*Streamlining European 2010 Biodiversity Indicators*, Optimización de los indicadores europeos sobre biodiversidad para 2010), cuyo objetivo es cuantificar y avanzar hacia el objetivo de frenar la pérdida de biodiversidad para 2010. Dentro de este proceso se ha compilado un conjunto inicial de 26 indicadores. La AEMA publicará en 2009 un informe de evaluación sobre los avances en la consecución del objetivo para 2010 basado en estos indicadores (para

más información, véase <http://www.eea.europa.eu/es/themes/biodiversity/eea-activities>).

Respecto a las aguas continentales, contar con información fiable y altamente cualificada sobre el estado ambiental de las aguas de superficie es esencial para la gestión del agua y para la mejora de la calidad ambiental de las aguas europeas, especialmente en el contexto de la Directiva marco sobre el agua. La AEMA está elaborando varias evaluaciones ambientales de las aguas europeas: evaluaciones del estado y de las tendencias en relación con la Directiva marco sobre el agua, utilizando indicadores tales como los incluidos en el Conjunto Básico de Indicadores de la AEMA y otros más específicos; evaluaciones más amplias de cuestiones que guardan una relación específica con el agua, como la eutrofización, las sustancias peligrosas, la extracción y el consumo de agua, los impactos hidromorfológicos y los bienes y servicios derivados de los ecosistemas hídricos; así como evaluaciones del impacto de determinados sectores sobre los recursos hídricos, como la agricultura, la energía hidroeléctrica, la industria, la navegación, el turismo y la gestión del agua (para más información, véase <http://www.eea.europa.eu/es/themes/water>).

En cuanto a la problemática marina, la AEMA encabeza el proceso de elaboración de un conjunto paneuropeo común de indicadores sobre el medio ambiente marino iniciado en el seno del Grupo de Trabajo Europeo de Evaluaciones y Vigilancia Marina (EMMA)⁽¹⁾. Este trabajo favorecerá la ejecución de la Directiva marco sobre la estrategia marina y la posterior realización de las evaluaciones marinas paneuropeas de la AEMA. Además, la AEMA también ha elaborado indicadores basados en oceanografía operativa, como indicadores sobre la elevación del nivel del mar y el incremento de la temperatura de la superficie marina.

Datos y fuentes de información utilizados en este informe

Este informe hace uso de registros de datos y resultados de modelos para evaluar el cambio climático pasado y futuro, y sus impactos. Aunque los registros de datos constituyen una fuente de información idónea

para describir las tendencias pasadas de factores cuantificables, es necesario emplear modelos teóricos para evaluar parámetros complejos que no es posible medir directamente, así como para evaluar tendencias futuras. Toda la información sobre indicadores contenida en este informe está sujeta a incertidumbres de diferente naturaleza generadas por las carencias de conocimientos sobre los procesos de cambio climático, por la falta de datos, por las dificultades para atribuir un cambio observado al cambio climático y por un amplio espectro de posibles evoluciones socioeconómicas en el futuro y posibles niveles de emisiones de gases de efecto invernadero. Las fuentes de los datos, las proyecciones y las incertidumbres se abordan brevemente en la descripción de cada indicador y se explican en mayor profundidad en el capítulo 8.

Presentación de los indicadores

La presentación de cada indicador incluye cuatro apartados:

- mensajes clave, que sintetizan las tendencias observadas y previstas;
- relevancia, en la que se explica la relevancia política, socioeconómica y ambiental, las posibles opciones de adaptación y las incertidumbres relacionadas con el indicador;
- tendencias pasadas, basadas principalmente en el análisis de largas series cronológicas de observaciones fiables;
- proyecciones (tendencias futuras) basadas principalmente en los resultados de los modelos y escenarios mundiales del IPCC adaptados a la situación europea.

(1) Para obtener más información sobre el trabajo realizado en el seno de EMMA y trabajos posteriores en: http://circa.europa.eu/Public/irc/env/marine/library?l=/workingsgroups/europeansmarinesmonitori/emma_30-31_2007/3_-_report/emma_2007_070810doc/_EN_1.0_&a=d.

5.2 Atmósfera y clima

5.2.1 Introducción

El clima europeo presenta una variabilidad regional considerable, determinada por la situación del continente en el hemisferio norte y por la influencia de los mares y de los continentes vecinos, incluido el Ártico. La circulación atmosférica constituye un vector importante de las variaciones a nivel temporal y regional (véase el recuadro 5.1).

En esta sección se describen las condiciones climáticas y atmosféricas en proceso de alteración. Los indicadores utilizados son la temperatura mundial/europea, las precipitaciones, las temperaturas y precipitaciones extremas, las tormentas y marejadas ciclónicas, así como la concentración de ozono en la atmósfera. Aunque la mayor parte de los indicadores se centran en Europa, se ha incluido la temperatura mundial debido al objetivo político europeo de limitar el aumento de la temperatura media global a un máximo de 2°C respecto a los niveles preindustriales, con el

Recuadro 5.1 Pautas de la circulación atmosférica en Europa

La circulación atmosférica desplaza masas de aire a larga distancia que se caracterizan, por ejemplo, por unos niveles propios y específicos de temperatura y de humedad. Para el clima europeo es importante la circulación occidental predominante en latitudes medias que orienta a las masas de aire oceánicas hacia el interior a lo largo de todo el continente. La advección más intensa del oeste provoca un tiempo más suave y húmedo y vientos más fuertes en la mayor parte de Europa, especialmente durante el invierno. La circulación del oeste, cuando es más débil y está bloqueada, provoca por lo general inviernos más fríos y secos y veranos más cálidos y secos. Las fluctuaciones en el comportamiento de esta pauta de circulación constituyen una de las principales fuentes de variabilidad del clima europeo. La intensidad de la circulación del oeste en la región europea se expresa por medio del índice de Oscilación del Atlántico Norte (OAN). La OAN es la fluctuación a gran escala de la presión atmosférica en el océano Atlántico entre el sistema de altas presiones situado en torno a las Azores y el sistema de bajas presiones en las inmediaciones de Islandia (figura 5.1).

La OAN se caracteriza por sus variaciones estacionales, interanuales e interdecenales. El mecanismo que impulsa la dinámica a corto plazo guarda correlación con las fluctuaciones meteorológicas. Las variaciones

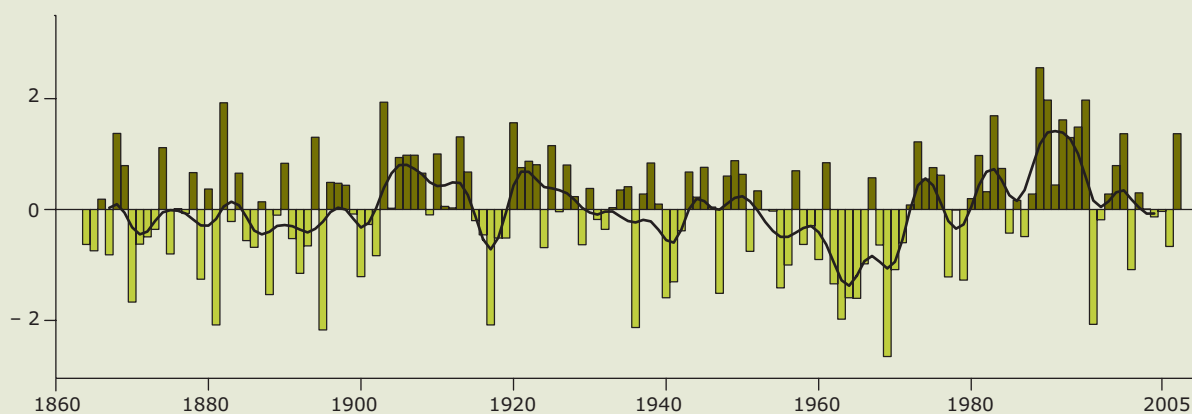
más prolongadas a escala temporal están ligadas a las interrelaciones atmósfera-océano-hielo.

Las anomalías estacionales repercuten directamente en los seres humanos y suelen estar asociadas a inundaciones y a olas de frío y de calor. La OAN parece haber variado mucho más de año en año a finales del siglo XVIII y a comienzos del siglo XIX, que en el siglo XX. Más recientemente, entre 1970 y 1990, se ha experimentado un considerable incremento del índice OAN al que siguió un descenso hasta los niveles normales de 2005. La relación que pueda existir con el cambio climático antropogénico sigue sin dilucidarse por el momento. Los escenarios sobre las futuras pautas de circulación son muy inciertos debido a la complejidad de los procesos y a la limitada capacidad para representarlos mediante modelos climáticos.

En el océano Pacífico, los impactos del fenómeno conocido como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) repercuten a nivel mundial sobre la variabilidad decenal y a más largo plazo y pueden alterar las precipitaciones y las temperaturas a lo largo de grandes distancias, que pueden llegar hasta Europa. En términos generales, los efectos de ENOS sobre la precipitación y la temperatura en Europa son mucho más moderados que los provocados por las variaciones de la OAN.

Figura 5.1 Índice OAN medio invernal (diciembre a marzo) 1864–2007

Índice OAN (estación)



Nota: Los valores positivos indican que el flujo occidental es más intenso.

Fuente: Actualizado de Hurrell *et al.*, 2003.

fin de que el cambio climático se mantenga dentro de unos niveles razonables y de reducir la posibilidad de perturbaciones irreversibles.

Los indicadores representan características diversas del sistema climático cuyos impactos sobre los sistemas físicos y biológicos y sobre la sociedad humana difieren; dichas características pueden no guardar relación o, más a menudo, presentar efectos combinados. Las elevadas temperaturas y el reducido índice de precipitación, por ejemplo, pueden provocar sequías más intensas. La sequía se estudia en el apartado 5.2.5 (precipitación extrema en Europa), en el que se ofrecen diversas interpretaciones de este fenómeno con consecuencias diferentes para los sectores afectados. Se incluyen las temperaturas y las precipitaciones extremas porque son las que más repercuten sobre la sociedad y el medio ambiente. Las zonas costeras son las más vulnerables a las tormentas, y sus daños pueden agravarse a causa de las inundaciones provocadas por marejadas ciclónicas. Existen diversas opciones de adaptación aplicables a muchas de las consecuencias de los cambios experimentados en estos fenómenos extremos, dentro de unos límites y con el consiguiente coste económico. Si procede, se hará referencia a ellas en las secciones dedicadas

a cada indicador. Las concentraciones de ozono troposférico pueden aumentar como resultado del incremento de la temperatura y de las reacciones químicas de los contaminantes atmosféricos emitidos por las actividades en la troposfera. El ozono no es sólo un gas de efecto invernadero, el aumento de las concentraciones de ozono lleva aparejados efectos perjudiciales para la salud —particularmente para los ancianos— y para el medio ambiente.

La disponibilidad y la precisión de los datos han sido dos de los criterios importantes a la hora de seleccionar los indicadores. En términos generales, y en comparación con otros indicadores, la disponibilidad de datos correspondientes a los indicadores climáticos es buena, aunque su fiabilidad, especialmente a escala regional, puede dejar que desear. Los más abundantes y más fiables son los datos correspondientes a la temperatura del aire; los relativos a las precipitaciones y al viento son menos frecuentes y, cuando disponibles, presentan mayor variación en las distintas regiones europeas. El grado de incertidumbre es mayor en las proyecciones sobre la precipitación y el viento que las proyecciones sobre la temperatura, dependiendo las primeras de las futuras pautas de circulación atmosférica, aún sujetas a incertidumbre.

5.2.2 Temperatura europea y mundial

Mensajes clave

Mundial

- Hasta 2007, la media de la temperatura mundial (terrestre y oceánica) superaba en 0,8°C los niveles preindustriales (media del período 1850-1899). La media de la superficie terrestre era de por sí 1°C superior.
- El ritmo de incremento de la media de la temperatura mundial ha experimentado un aumento de 0,1°C por década durante los últimos 100 años, hasta situarse en 0,2°C por década durante los últimos 10 años.
- Las estimaciones más precisas sobre el calentamiento previsto para la tierra durante el presente siglo consisten en un incremento adicional de la temperatura media de entre 1,8 y 4,0°C para distintos escenarios en los que no se presupone la

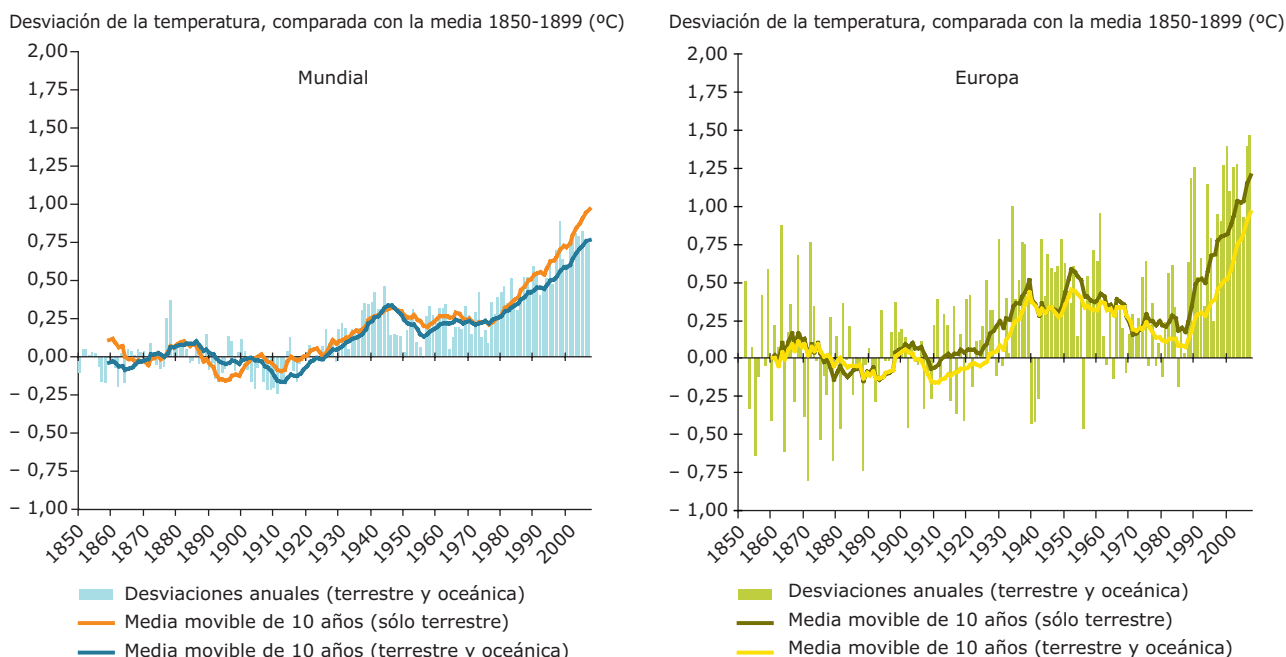
adopción de ninguna medida nueva/adicional para limitar las emisiones.

Europa (*)

- Europa ha experimentado un calentamiento por encima de la media mundial. Hasta 2007, la temperatura media anual para la superficie terrestre europea superaba en 1,2°C los niveles preindustriales, y la del conjunto de la superficie terrestre y oceánica era 1°C superior. Ocho de los doce años transcurridos entre 1996 y 2007 figuran entre los 12 años más cálidos desde 1850.
- Se prevé que la temperatura media anual experimente un incremento de 1 - 5,5°C durante este siglo (estimación más precisa), registrándose el mayor calentamiento en Europa oriental y septentrional durante el invierno y en Europa meridional y occidental y Europa mediterránea durante el verano.

(*) Europa se define como la superficie situada entre 35 y 70° N y -25 y 30° E, más Turquía (35 a 40° N, 30 a 45° E).

Figura 5.2 Desviaciones observadas en la temperatura media anual europea y mundial, 1850-2007



Nota: Los datos originales proceden de la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia. En la fuente original, las desviaciones de la temperatura media mundial anual están relacionadas con el período de base 1961-1990. Las desviaciones anuales que figuran en el diagrama se han ajustado para hacer referencia al período 1850-1899 a fin de vigilar mejor el objetivo de la UE de no superar los 2°C respecto a los valores preindustriales. En el conjunto del continente, las temperaturas medias anuales durante el auténtico período preindustrial (1750-1799) fueron muy similares a las del período 1850-1899.

Fuentes: Unidad de Investigación Climática (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>) (izquierda); KNMI (<http://climexp.knmi.nl/>) (derecha).

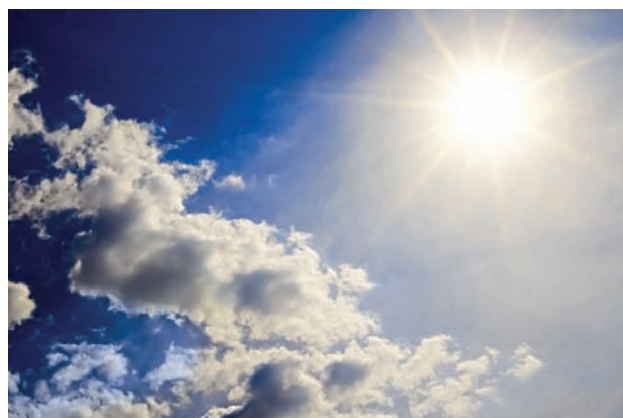
Relevancia

De todos los parámetros empleados para el seguimiento del cambio climático y para efectuar proyecciones sobre su evolución, la temperatura del aire es el que más se acerca a lo que normalmente entendemos por «clima». Afortunadamente, los datos sobre la temperatura del aire son a su vez los datos climáticos más solventes. Existe una profusa red de estaciones de medición repartida por todo el mundo, especialmente en Europa, sujeta a procedimientos normalizados y homogéneos, así como a sistemas de control de calidad con frecuencia muy sofisticados, lo que permite obtener nítida información sobre la temperatura. Se dispone de información mensual para series cronológicas a largo plazo (normalizadas a partir de 1850). Las series cronológicas con empleo de datos diarios comienzan por lo general más tarde. Por otra parte, los modelos climáticos se han vuelto en los últimos tiempos más sofisticados y la incertidumbre en las proyecciones a más largo plazo ha pasado a estar asociada a las futuras emisiones de gases de efecto invernadero, más que a las incertidumbres asociadas a la modelización del sistema climático.

Los cambios de temperatura afectan prácticamente a todos los indicadores incluidos en este informe, ya sea directa o indirectamente. El aumento previsto de la temperatura puede entrañar consecuencias beneficiosas para Europa septentrional (al menos durante un período de tiempo concreto), aunque en la mayor parte del continente los impactos son y seguirán siendo desfavorables. Respecta a la política sobre el cambio climático, el aumento de la temperatura global es relevante debido al objetivo de la UE de limitar el aumento de la temperatura media mundial a un máximo de 2°C por encima de los niveles preindustriales, tal como indica el apartado 5.1. Consecuentemente, la vigilancia del cambio de temperatura también es relevante para comparar la evolución real con dicho objetivo. En otros estudios se han propuesto objetivos «sostenibles» adicionales de limitación del aumento medio de la temperatura que oscilan entre 0,1°C y 0,2°C por década, basándose en la limitada capacidad de adaptación que presentan los ecosistemas (Rijsberman y Swart, 1990; WBGU, 2003; van Vliet y Leemans, 2006). En este contexto, cabe señalar que el ritmo de calentamiento se ha acelerado más en la superficie terrestre que en los océanos.

Tendencias del pasado

El calentamiento de la tierra se está acelerando, muy probablemente, a causa del aumento observado de las concentraciones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico (IPCC, 2007a). En 2007, la temperatura media (terrestre y oceánica) del planeta superaba en 0,8°C los niveles preindustriales (definidos como la media registrada durante el período 1850–1899



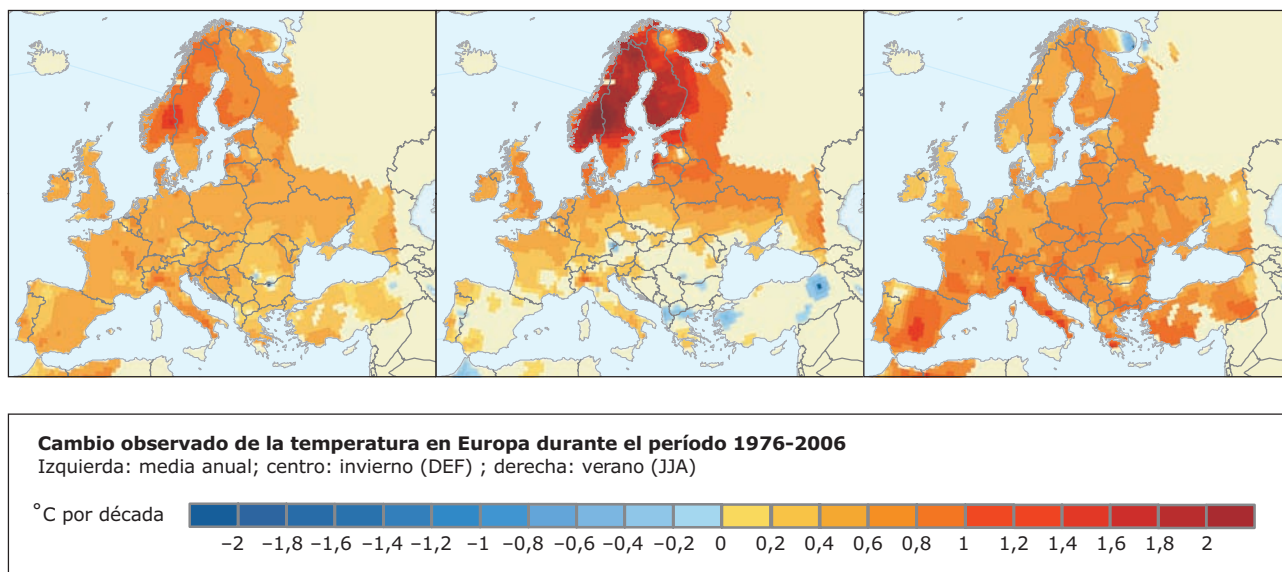
Fotografía: © Stockxpert

(IPCC, 2007a)), alcanzándose tan sólo en la superficie terrestre un incremento de 1,0°C. Once de los doce últimos años (1996–2007), exceptuando 1996, figuran entre los doce años más cálidos dentro de dicho periodo. Los dos años más cálidos registrados fueron 2005 y 1998 (véase la figura 5.2). La temperatura media en el mundo se ha incrementado como promedio 0,1°C por década durante los últimos cien años hasta 0,2°C por década durante los diez últimos años (todos los valores corresponden a la zona terrestre y oceánica) (IPCC, 2007a).

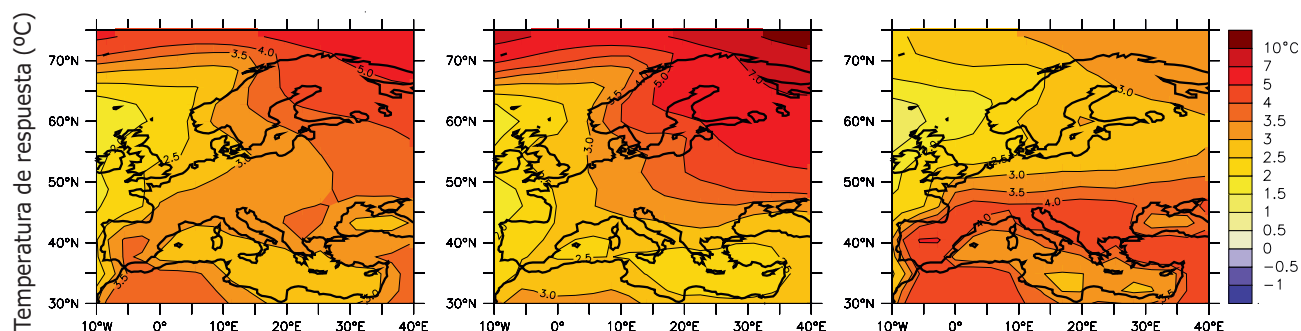
En Europa, el calentamiento ha superado ligeramente la media del planeta en conjunto. En 2007, la temperatura media anual de la superficie terrestre europea superaba en 1,2°C los niveles preindustriales, y la del conjunto de la superficie terrestre y oceánica era 1°C más elevada. Ocho de los doce años transcurridos entre 1996 y 2007 figuran entre los doce más cálidos experimentados en Europa desde el período 1850–1860. Desde el punto de vista de las estaciones, el calentamiento de Europa ha sido mayor durante la primavera y el verano. Sorprendentemente, el calentamiento registrado en otoño fue prácticamente nulo. Desde el punto de vista geográfico, durante los últimos cincuenta años se ha observado un calentamiento especialmente acusado en la Península Ibérica, en Europa central y nororiental y en las regiones montañosas (Böhm *et al.*, 2001; Klein Tank, 2004). Durante los últimos treinta años, el calentamiento ha sido más notorio en Escandinavia, sobre todo en invierno, mientras que en la Península Ibérica el calentamiento fue mayor en verano (mapa 5.1).

Proyecciones

Las proyecciones indican que la temperatura media seguirá aumentando a escala europea y a escala global. El incremento contemplado durante este siglo a nivel mundial se sitúa entre los 1,8 y los 4,0°C (estimación más precisa), y se considera probable (con un índice de probabilidad del 66%) que en los seis escenarios IE-EE del IPCC y en los múltiples modelos climáticos (véase el

Mapa 5.1 Cambio observado de la temperatura en Europa durante el período 1976–2006

Fuente: El conjunto de datos relativos al clima se ha obtenido del proyecto ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>) del 6º Programa Marco de la UE y de los proveedores de datos del proyecto ECA&D (<http://eca.knmi.nl>).

Mapa 5.2 Cambio modelizado de la temperatura media de Europa entre los períodos 1980–1999 y 2080–2099

Nota: Izquierda: anual; centro: invernal (DEF); derecha: estival (JJA); cambios en°C en el escenario de emisiones A1B del IE-EE del IPCC promediados a partir de 21 modelos (simulaciones del conjunto de datos de varios modelos basado en el escenario A1B).

Fuente: Christensen *et al.*, 2007. Publicado con la autorización del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

capítulo 4) oscile entre los 1,1 y los 6,4°C si se compara la media del período 2080–2100 con la de 1980–1999. Estos escenarios presuponen que no se ejecute política adicional alguna con el fin de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007a). El rango es resultado de las incertidumbres relacionadas con el desarrollo socioeconómico en el futuro y los modelos climáticos. En los seis escenarios del IPCC se prevé rebasar el objetivo «sostenible» de limitar el calentamiento medio de la tierra a un máximo de 2,0°C respecto al nivel preindustrial entre 2040 y 2060.

Se prevé que la temperatura media anual europea aumente entre 1,0 y 5,5°C (comparando la media del período 2080–2100 con la del período 1961–1990). Este intervalo toma en cuenta las incertidumbres sobre el

desarrollo socioeconómico futuro e incorpora para ello dos de los supuestos del IE-EE del IPCC (el A2 de alto nivel de emisiones y el A1b de nivel medio) y las incertidumbres sobre los modelos climáticos (Christensen *et al.*, 2007) (mapa 5.2). Se prevé que el calentamiento será mayor en Europa oriental, Escandinavia y el Ártico en invierno (de diciembre a febrero), y en Europa sudoccidental y el Mediterráneo en verano (de junio a agosto) (Giorgi *et al.*, 2004; IPCC, 2007a). El aumento de la temperatura podría rebasar los 6°C en algunas zonas de Francia y de la Península Ibérica y el Ártico podría alcanzar una media de 6°C, y hasta posiblemente 8°C, por encima de la media registrada durante el período 1961–1990 (IPCC, 2007a, 2007b; ACIA, 2004).

Recuadro 5.2 Reanálisis climático

El seguimiento del cambio climático puede efectuarse mediante diversos procedimientos. Además de utilizar observaciones directas de la superficie, también es posible estimar otras variables climáticas como la temperatura próxima a la superficie sirviéndose del denominado enfoque de reanálisis, que utiliza un moderno sistema de asimilación de datos para combinar datos históricos procedentes de fuentes diversas, como satélites, radiosondas, aviones, datos de superficie y barcos. Este enfoque genera un conjunto de datos atmosféricos exhaustivo que incluye parámetros no suficientemente observados. Los resultados podrán emplearse para evaluar el cambio climático y la variabilidad climática.

El mapa 5.3 es reflejo de los resultados que arrojó el último reanálisis europeo, ERA-40, efectuado por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (CEPMPM) con apoyo de los centros meteorológicos nacionales europeos y el 5º Programa Marco de la Comisión Europea. Las variaciones de la temperatura en Europa que se aprecian en ERA-40 resultan coherentes con los cambios observados a lo largo de idéntico período y basados en los datos de las estaciones (mapa 5.1).

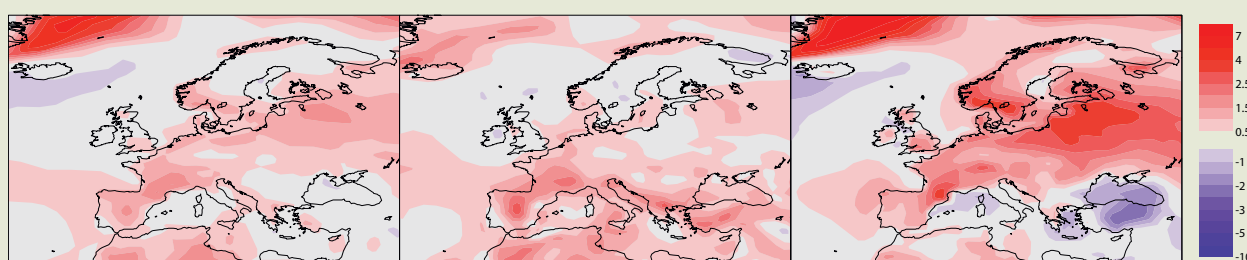
El reanálisis a nivel mundial constituye una base para el reanálisis a nivel regional y para los proyectos a escala más reducida (por ejemplo, el proyecto BALTEX de reanálisis regional para el mar Báltico). Estos proyectos pueden facilitar datos espacialmente

detallados sobre el cambio climático que avalen los estudios sobre el ámbito climático local y los impactos climáticos.

Una de las ventajas de la metodología de reanálisis es su exhaustiva cobertura temporal y espacial, y la información adicional que brinda un sistema de asimilación de datos basado en modelos. Como tal, resulta muy útil para la estimación de variables climáticas apenas observadas como la velocidad y la dirección del viento. No obstante, cuando un reanálisis se prolonga durante largos períodos en los que se producen cambios importantes (por ejemplo en el sistema de observación), deben interpretarse con cautela los conjuntos de datos analizados, sobre todo en las regiones con una cobertura de observación insuficiente (IPCC, 2007a; Bengtsson *et al.*, 2004; Declaración de la Tercera Conferencia Internacional del PMIC sobre Reanálisis, 2008). Para los análisis climáticos en particular, las estimaciones de tendencias y la variabilidad de baja frecuencia de ERA-40 son más precisas a partir de la entrada en servicio del satélite, desde 1979 en adelante, que durante el período anterior (Simmons *et al.*, 2004).

En términos generales, el progreso continuo de los análisis y reanálisis de los datos climáticos correspondientes a los océanos, el suelo y el hielo marino, así como de las iniciativas encaminadas a obtener información más precisa por medio de reanálisis regionales abre grandes posibilidades de avanzar y conocer mejor el pasado climático de Europa.

Figura 5.3 La tendencia lineal observada en la temperatura de Europa en la superficie durante el período 1985-2001



Nota: Tendencia lineal (°C/50 años) calculada a partir de los datos de ERA-40 correspondientes al período 1958-2001. El panel de la izquierda representa el cambio anual; el panel central, el cambio estival (JJA) y el panel de la derecha el cambio invernal (DEF).

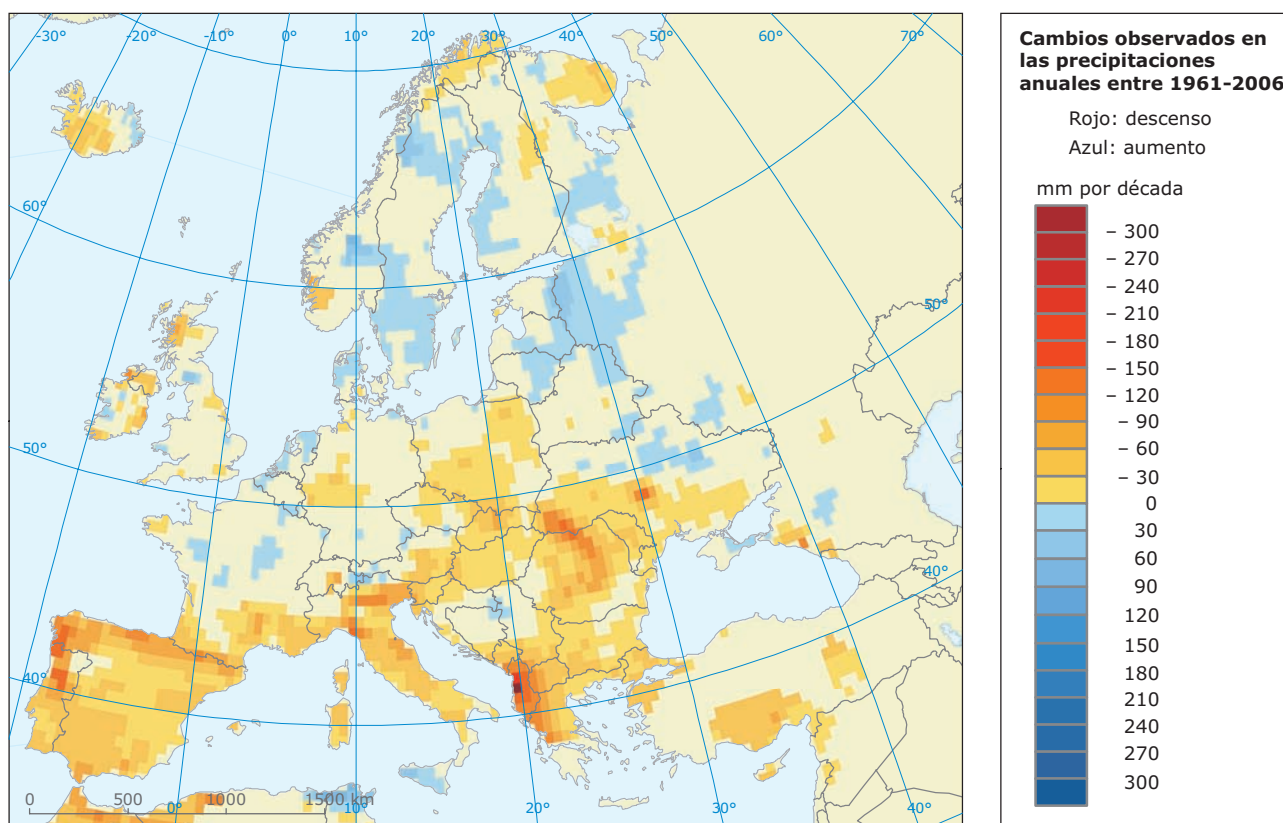
Fuente: Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (CEPMPM), Reanálisis atmosférico mundial ERA-40, (<http://www.ecmwf.int>).

5.2.3 Las precipitaciones en Europa

Mensajes clave

- Las tendencias observadas en las precipitaciones anuales durante el siglo XX muestran un incremento en Europa septentrional (10 - 40%) y una disminución en algunas zonas de Europa meridional (de hasta el 20%).
- La media de las precipitaciones invernales se ha incrementado en la mayor parte de Europa occidental y septentrional (entre el 20 y el 40%), mientras que Europa meridional y algunas zonas de Europa central se han caracterizado por unos inviernos más secos.
- Los modelos pronostican un aumento de las precipitaciones invernales en Europa septentrional, mientras que en muchas zonas de Europa podrían registrar veranos más secos. No obstante, subsisten incertidumbres en la magnitud y las características geográficas de estos cambios.

Mapa 5.4 Cambios observados en las precipitaciones anuales 1961-2006



Nota: Los datos se expresan en mm por década, el color azul representa un aumento y el rojo una disminución. Las observaciones indican que la gran variabilidad de la escala decenal observada en la cuantía de la precipitación se superpone a las tendencias de la escala a largo plazo antes descritas. Esta variabilidad guarda cierta relación con la variabilidad en la escala decenal de las anomalías en la circulación atmosférica (véase el recuadro 5.1). El cálculo de las tendencias a lo largo de períodos de tiempo más reducidos puede proporcionar, en consecuencia, resultados diferentes. El color amarillo indica que la tendencia durante el período 1961-2006 no es significativa a un nivel del 25%.

Fuente: El conjunto de datos relativos al clima se ha obtenido del proyecto ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>) del 6º Programa Marco de la UE y de los proveedores de datos del proyecto ECA&D (<http://eca.knmi.nl>).

Relevancia

Las precipitaciones son un componente importante del ciclo hidrológico. La cuantía y la distribución espacial de las precipitaciones en Europa están

muy influenciadas por las pautas de circulación del aire (véase el recuadro 5.1). La mayor parte de las precipitaciones registradas en Europa guarda relación con la advección de masas de aire marítimo procedentes del Atlántico y del Mediterráneo. El conjunto de

alteraciones en el régimen de precipitaciones y los incrementos de la temperatura del aire pueden provocar fenómenos hidrológicos extremos, como inundaciones y sequías (véanse, por ejemplo, las secciones 5.2.5, 5.5.3 y 5.5.4). Algunos ecosistemas o sectores, estrechamente relacionados con el ciclo hidrológico, son muy sensibles a los efectos combinados de un aumento de la temperatura y un cambio en las pautas de precipitaciones. Dentro de ciertos límites y con el correspondiente coste económico, es posible adaptarse a muchos de los impactos. Se mencionarán sucintamente dichas opciones en las secciones correspondientes a cada indicador concreto.

Las series cronológicamente homogéneas de datos sobre precipitaciones mensuales y los métodos de disposición en rejilla e interpolación permiten analizar diversos períodos a partir de 1901 en distintas escalas temporales y espaciales. No obstante, las diferencias entre los modelos climáticos correspondientes a las proyecciones sobre futuras precipitaciones muestran un mayor grado de incertidumbre para los resultados regionales y estacionales que para las proyecciones sobre la temperatura y las tendencias de precipitaciones.

Tendencias anteriores

En términos generales, las precipitaciones experimentaron durante el siglo XX un incremento medio del 6 - 8% en Europa entre 1901 y 2005. Desde el punto de vista geográfico, se aprecia una variación (véase el mapa 5.4; un aumento en Europa noroccidental, provocado en parte por una mayor advección de masas de aire húmedas procedentes del Atlántico hacia esta parte del continente. En la zona oriental y mediterránea se han observado unas condiciones más secas, mientras que en Europa

occidental no se ha observado ninguna tendencia definida (Norrant y Douguédroit, 2006).

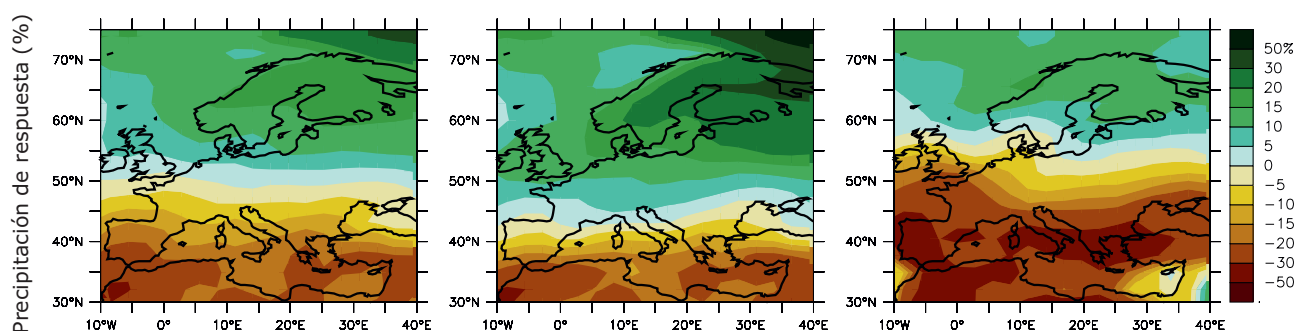
El promedio de precipitaciones invernales (diciembre a febrero) está aumentando entre el 20 y el 40% en la mayor parte de Europa occidental y septentrional (Klein Tank *et al.*, 2002), debido a la circulación más intensa del oeste durante el invierno. Por el contrario, la zona meridional y zonas de Europa central se caracterizaron por unos inviernos más secos. Las tendencias observadas durante la primavera y el otoño no han sido significativas.

Proyecciones

Los modelos climáticos indican cambios en las precipitaciones que oscilan considerablemente entre las distintas estaciones y entre las distintas regiones. Desde el punto de vista geográfico, las proyecciones apuntan a un aumento generalizado de las precipitaciones en Europa septentrional y a un descenso en Europa meridional. La variación de la media anual entre los períodos 1980-1999 y 2080-2099 para las proyecciones intermedias del escenario A1B del IE-EE del IPCC oscila entre el 5 y el 20% en Europa septentrional y el -5 al -30% en Europa meridional y el Mediterráneo (mapa 5.5). Son muchos los estudios de impacto (véanse otros indicadores) que utilizan el escenario A2 de alto nivel de emisiones. En este escenario, los cambios previstos son casi siempre mayores.

Desde el punto de vista estacional, los modelos pronostican un incremento a gran escala de las precipitaciones invernales en Europa central y septentrional. Se prevé que en muchas zonas de Europa el verano sea más seco (mapa 5.5.). En cuanto a la primavera y el otoño se prevén cambios relativamente moderados en las precipitaciones (Räisänen *et al.*, 2004; Kjellström, 2004).

Mapa 5.5 Cambio modelizado de la precipitación entre 1980-1999 y 2080-2099



Nota: Izquierda: anual; centro: invernal (DEF); derecha: estival (JJA)% de los cambios en el supuesto de emisiones A1B del IE-EE del IPCC promediados a partir de veintinueve modelos (simulaciones del conjunto de datos de varios modelos basado en el escenario A1B).

Fuente: Christensen *et al.*, 2007. Publicado con la autorización del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

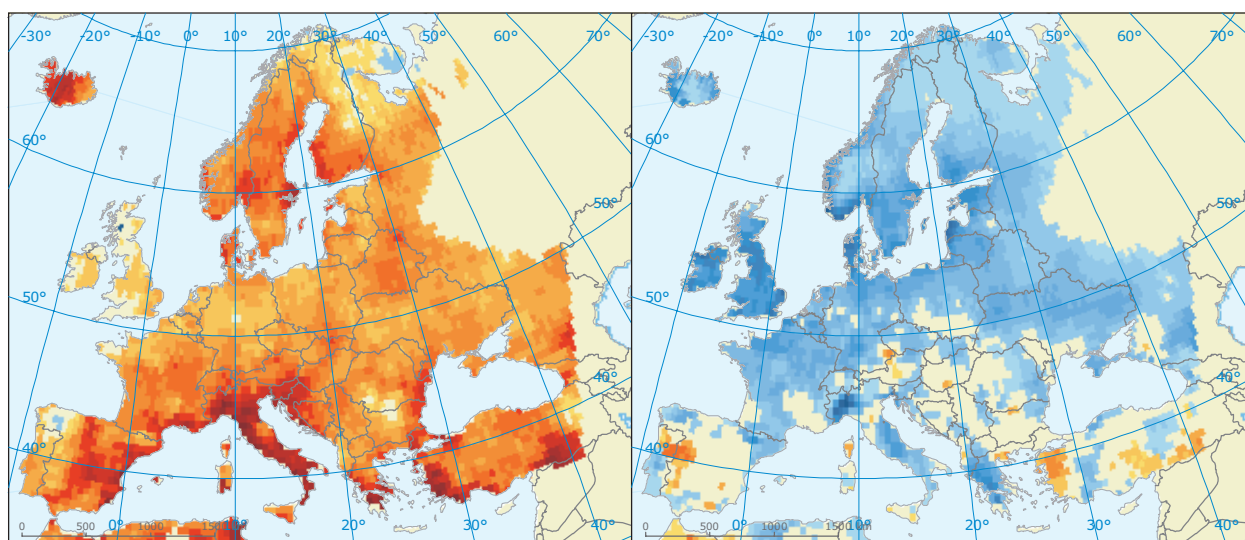
5.2.4 Temperaturas extremas en Europa

Mensajes clave

- Los fríos extremos son cada vez menos frecuentes en Europa mientras que el calor extremo empieza a hacerse más habitual. La frecuencia de días cálidos prácticamente se triplicó entre 1880 y 2005.
- Dentro del continente en su conjunto está previsto que aumenten la frecuencia, la intensidad y la duración de las olas de calor, mientras que se prevé

un descenso aún mayor de la variabilidad de la temperatura invernal y del número de episodios extremos de frío y heladas. Está previsto que las regiones más afectadas sean la Península Ibérica, Europa central (incluidos los Alpes), el litoral adriático oriental y el sur de Grecia.

Mapa 5.6 Cambios observados en los índices de olas de calor y de días de heladas 1976-2006



Cambios observados en la duración de las olas de calor en verano (izquierda) y frecuencia de días helados en invierno (derecha) en el periodo 1976-2006



Fuente: El conjunto de datos relativos al clima se ha obtenido del proyecto ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>) del 6º Programa Marco de la UE y de los proveedores de datos del proyecto ECA&D (<http://eca.knmi.nl>).

Relevancia

Tal y como ha percibido la ciudadanía, la manifestación más clara del cambio climático consiste en la mayor frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos y sus impactos asociados. Prácticamente todas las medidas de adaptación guardan relación con los cambios en los extremos climáticos. Las temperaturas extremas pueden provocar olas de calor y sequías intensas y prolongadas que, a su vez, repercuten de

manera muy diversa sobre los ecosistemas naturales y sociales (por ejemplo sobre la agricultura y la salud pública).

Las series cronológicas empleadas para el estudio de las temperaturas extremas se basan en datos de frecuencia diaria. Los datos obtenidos de series cronológicas europeas que se remontan más de cincuenta años en el tiempo permiten efectuar evaluaciones detalladas de fenómenos extremos.

Tendencias anteriores

Las temperaturas extremadamente elevadas en forma de días cálidos, noches tropicales y olas de calor⁽²⁾ son cada vez más frecuentes, mientras que las temperaturas extremadamente bajas (por ejemplo, las olas de frío y las heladas diurnas) escasean cada vez más (Klein Tank *et al.*, 2002; IPCC, 2007a; mapa 5.6). Durante el período 1880-2005, la duración media de las olas de calor estivales en Europa occidental se duplicó, mientras que la frecuencia de días cálidos prácticamente se triplicó (Della-Marta *et al.*, 2007).

Proyecciones

Se prevé que las temperaturas extremadamente elevadas en Europa, paralelas al calentamiento global, resulten más frecuentes, intensas y prolongadas durante este siglo (Schär *et al.*, 2004; Tebaldi *et al.*, 2006; IPCC, 2007a, 2007b; Beniston *et al.*, 2007). Asimismo, se prevé un aumento considerable de las temperaturas nocturnas (mapa 5.7) que posiblemente incrementará los problemas de salud e incluso llevará a un aumento de la mortalidad (Halsnæs *et al.*, 2007; Sillman y Roekner, 2008), compensado, en parte al menos, por una reducción de la mortalidad invernal (véase la sección 5.10.2).

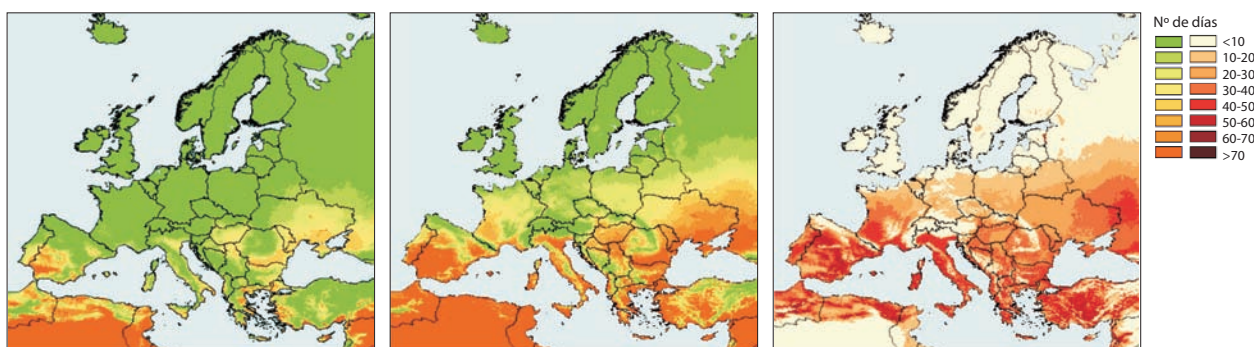
Desde el punto de vista geográfico, está previsto que el aumento de las temperaturas máximas estivales sea mucho más acusado en Europa meridional y central que en Europa septentrional, mientras que, según las proyecciones, las temperaturas extremadamente frías



Fotografía: © Stockxpert

disminuirán especialmente en Europa septentrional (Kjelström *et al.*, 2007; Sillman y Roekner, 2008). En el escenario A2 se prevé, por ejemplo, que, para finales del siglo XXI, en Europa central el número de días cálidos será similar al que se registra actualmente en España o en Sicilia. (Beniston *et al.*, 2007).

Mapa 5.7 Número modelizado de noches tropicales en Europa durante el verano (julio - agosto) 1961-1990 y 2071-2100



Nota: Período de referencia (1961-1990) (izquierda), período del escenario (2071-2100) (centro) y cambio entre períodos (derecha). Se utilizaron datos procedentes del Instituto Danés de Meteorología con el modelo climático regional HIRHAM4 con las condiciones límite del modelo HadCM3 y del escenario de emisiones A2 del IE-EE del IPCC.

Fuente: Dankers y Hiederer, 2008.

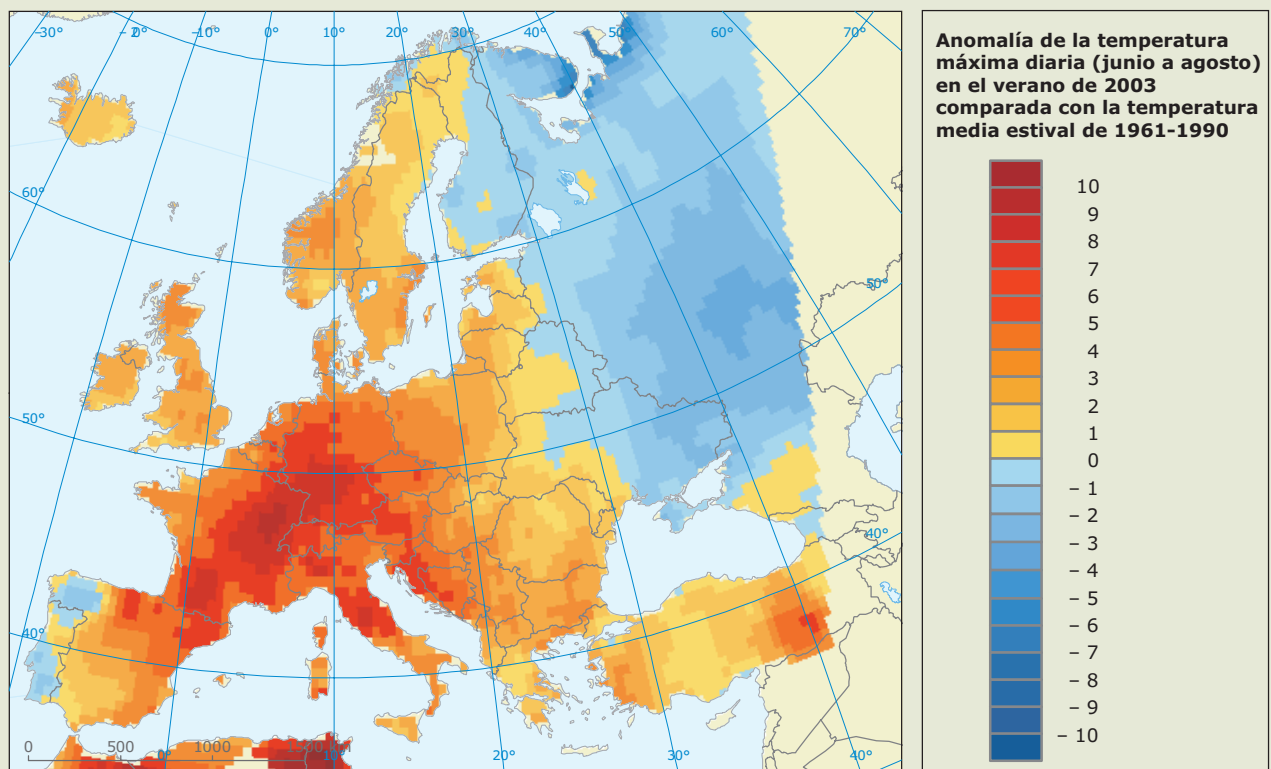
⁽²⁾ Un día cálido se define como aquél en el que la temperatura máxima diaria rebasa el percentil 95 diario a largo plazo de temperatura máxima diaria; una noche tropical es una noche en la que la temperatura mínima es superior a 20°C; una ola de calor es un período en el que se registran un mínimo de seis días consecutivos con una temperatura máxima superior a 30°C; una ola de frío es un período en el que se registran un mínimo de seis días consecutivos con una temperatura mínima inferior al percentil 10 de temperatura mínima diaria (por ejemplo, durante el período 1961-1990); los días de helada se definen como aquellos días en que se registra una temperatura mínima diaria inferior a 0°C).

Recuadro 5.3 La ola de calor del verano de 2003

En el verano de 2003 (junio, julio y agosto) una ola de calor afectó a gran parte del continente europeo. Se cree que fue el verano más cálido desde, al menos, 1500 (Luterbacher *et al.*, 2004). Las temperaturas estacionales fueron las más elevadas registradas en Alemania, España, Francia y Suiza (mapa 5.8). Las temperaturas medias estivales (junio - agosto) superaron ampliamente la media a largo plazo, alcanzándose hasta cinco desviaciones estándar, es decir, se trató de un fenómeno extremadamente improbable en las condiciones climáticas actuales (Schär y Jendritzky, 2004). Veranos cálidos como el de 2003 pueden, no obstante, resultar mucho más frecuentes durante la segunda mitad del siglo XXI (Beniston, 2007; Dankers y Hiederer, 2008).

En Europa, la ola de calor de 2003 estuvo asociada a una distribución especial de la presión atmosférica que dio lugar a una advección de aire caliente procedente

del sur que contribuyó a reforzar la intensidad y persistencia de las olas de calor. Casi toda la radiación solar se convirtió en calor debido a la sequedad del suelo y la vegetación. En muchos lugares las temperaturas diurnas superaron los 40°C. En los Alpes europeos, los glaciares sufrieron una pérdida media de espesor equivalente a 3 m de agua, duplicando casi los valores más elevados correspondientes a 1998 (OMM, 2004; véase la sección 5.3.2). Los déficits de precipitaciones anuales de hasta 300 mm alcanzados en numerosas zonas provocaron sequías que resultaron en una reducción de la producción agrícola (sección 5.6.2), una mayor propagación de los incendios forestales (Portugal, sección 5.6.6) y que varios de los principales ríos (como el Po, el Rin, el Loira y el Danubio, sección 5.7.2) alcanzasen cotas históricamente bajas. En el conjunto de los países afectados, se registraron más de 70.000 muertes adicionales asociadas a las olas de calor de 2003 (sección 5.10.2).

Mapa 5.8 Anomalía de la temperatura máxima diaria (junio - agosto) en el verano de 2003

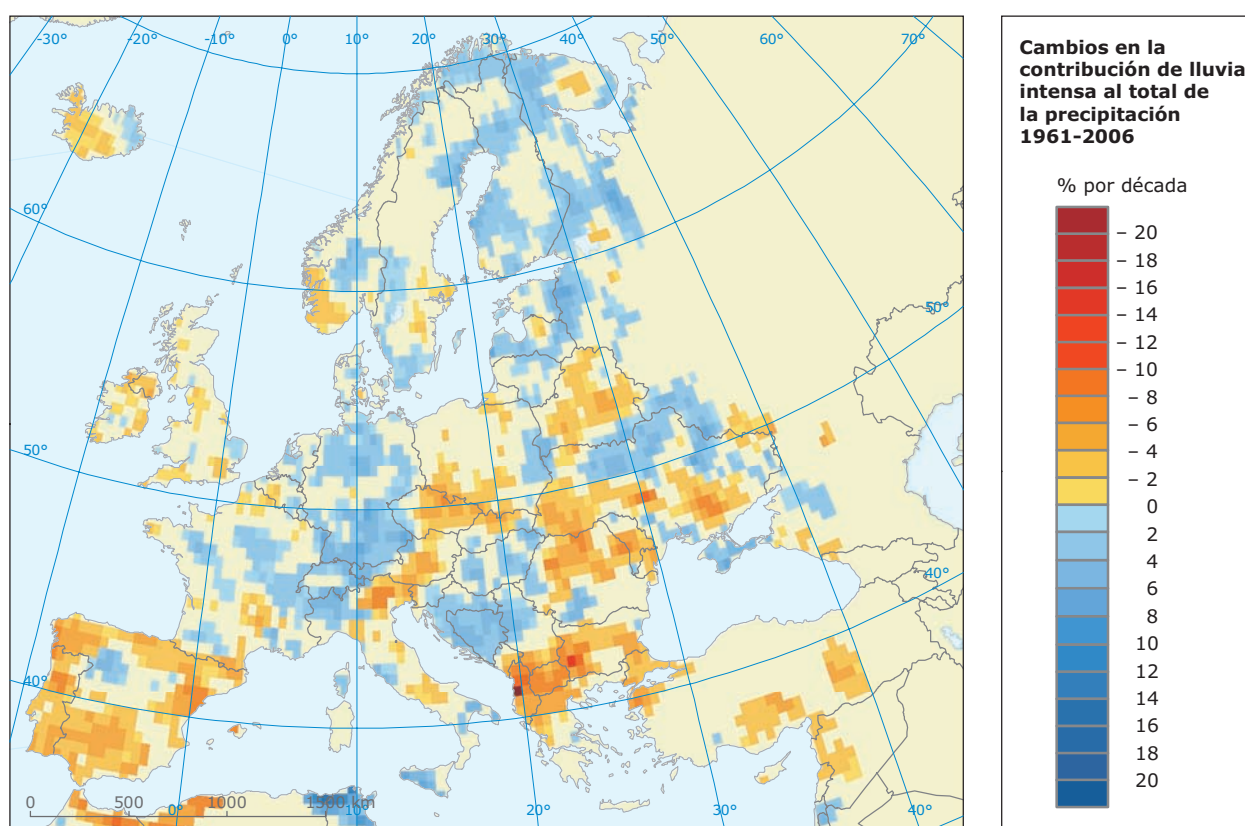
Fuente: El conjunto de datos relativos al clima se ha obtenido del proyecto ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>) del 6º Programa Marco de la UE y de los proveedores de datos del proyecto ECA&D (<http://eca.knmi.nl>).

5.2.5 Precipitaciones extremas en Europa

Mensajes clave

- En Europa, la intensidad de las precipitaciones extremas tales como lluvias torrenciales, se han incrementado durante los últimos cincuenta años, incluso en zonas donde las precipitaciones medias han experimentado un descenso, como Europa central y el Mediterráneo.
- Durante el siglo XX no se registraron grandes variaciones en lo que respecta a la parte de Europa afectada por la sequía.
- Se prevé que los fenómenos de precipitaciones intensas se mantendrán y serán cada vez más frecuentes en todo el continente.
- Se prevé que aumente la duración y frecuencia de los períodos secos, especialmente en Europa meridional.

Mapa 5.9 Cambios en la contribución de lluvia intensa al total de la precipitación 1961-2006



Fuente: El conjunto de datos relativos al clima se ha obtenido del proyecto ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>) del 6º Programa Marco de la UE y de los proveedores de datos del proyecto ECA&D (<http://eca.knmi.nl>).

Relevancia

Tanto los fenómenos extremos de altas como de bajas precipitaciones (alta intensidad o lluvias prolongadas y sequías, respectivamente) pueden abocar a períodos con un elevado volumen o, por el contrario, con déficit en el volumen total de precipitaciones. Estos períodos pueden oscilar entre varios minutos (como en el caso de los aguaceros torrenciales) hasta días, semanas e

incluso meses (con fenómenos de lluvia prolongada o ausencia de precipitación). Los fenómenos de precipitaciones extremadamente bajas pueden originar sequías (véase el recuadro 5.4). Los fenómenos de precipitaciones extremadamente elevadas pueden provocar inundaciones repentinas, fallos en la red de alcantarillado y corrimientos de tierras, o inundaciones devastadoras que afecten a cuencas más extensas y se prolonguen durante más tiempo.

Las precipitaciones extremas pueden describirse de diferente forma. Los déficits de precipitaciones suelen expresarse como el número y duración de los períodos secos (por ejemplo, el número de días secos consecutivos) y los fenómenos de altas precipitaciones como el número de días húmedos, días húmedos consecutivos, y la frecuencia e intensidad de los fenómenos de precipitaciones intensas (Klein Tank y Können, 2003).

Las series cronológicas empleadas para el estudio de las precipitaciones extremas se basan en datos tomados diariamente. Como en el caso de las temperaturas extremas, en Europa se dispone, a efectos de análisis estadísticos, de series cronológicas que se remontan más de cincuenta años en el tiempo.

Tendencias anteriores

Las precipitaciones extremas se han incrementado en la mayor parte de la superficie terrestre de Europa, relacionadas con el calentamiento y el incremento del vapor de agua atmosférico. Dentro de Europa en su conjunto, también la intensidad de las precipitaciones extremas, caso de las lluvias intensas por ejemplo, se ha incrementado durante los últimos 30 años, incluso en zonas donde las precipitaciones medias han experimentado un descenso, como Europa central y el Mediterráneo. Más en concreto, la contribución de las lluvias intensas a las precipitaciones totales se ha incrementado (mapa 5.9).

La proporción de territorio europeo que ha experimentado condiciones de sequía meteorológica moderada o extrema no varió significativamente durante el siglo XX (figura 5.3) (Lloyd-Hughes y Saunders, 2002). En Europa central y oriental y en el oeste de Rusia se ha observado cierta evolución hacia la sequía. Algo similar sucedió en invierno y primavera. Las sequías estivales no mostraron tendencias

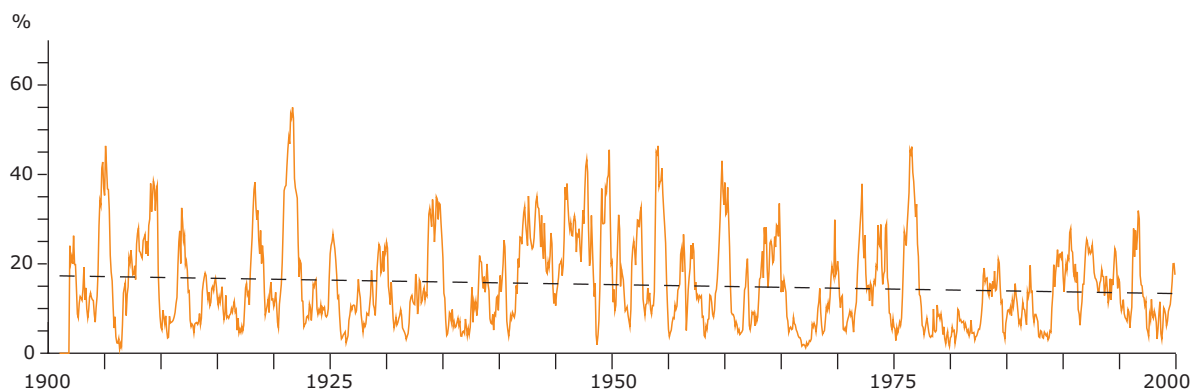
significativas desde el punto de vista estadístico durante el período 1901–2002 (Robock *et al.*, 2005; van der Schrier *et al.*, 2006).

Proyecciones

En el conjunto de Europa los fenómenos de precipitaciones intensas están llamados a continuar (con un 66% de probabilidad) y a hacerse cada vez más frecuentes (IPCC, 2007a). Se prevé que la frecuencia de días húmedos disminuya durante el verano, si bien la intensidad de los aguaceros torrenciales podría incrementarse. Además, se prevé que aumente la frecuencia de los episodios de precipitaciones prolongadas durante varios días. Desde el punto de vista geográfico, las proyecciones muestran una variación regional considerable. Se prevé un incremento de los fenómenos de precipitaciones extremas del 17% en Europa septentrional y del 13% en Europa central durante el siglo XXI, sin que esté previsto ningún cambio en Europa meridional (en el modelo climático ECHAM 4, escenario A1B, figura 5.4, Sillmann y Roeckner, 2008).

La combinación de temperaturas elevadas y reducción de las precipitaciones medias estivales está llamada a incrementar la frecuencia y la intensidad de las sequías en toda Europa. Así lo pone de relieve, por ejemplo, el número previsto de días secos consecutivos, que se definen como los días en los que la precipitación es inferior a 1 mm (figura 5.5). En Europa meridional, se prevé que el número máximo de días secos aumente sustancialmente durante el siglo XXI. Para finales de siglo, los períodos secos más dilatados durante un año podrían prolongarse un mes. En Europa central, la prolongación del período seco más largo sería de una semana y no se prevén incrementos en Europa septentrional. Por lo tanto, se prevé que aumente aún más la vulnerabilidad de las regiones europeas ya secas de por sí.

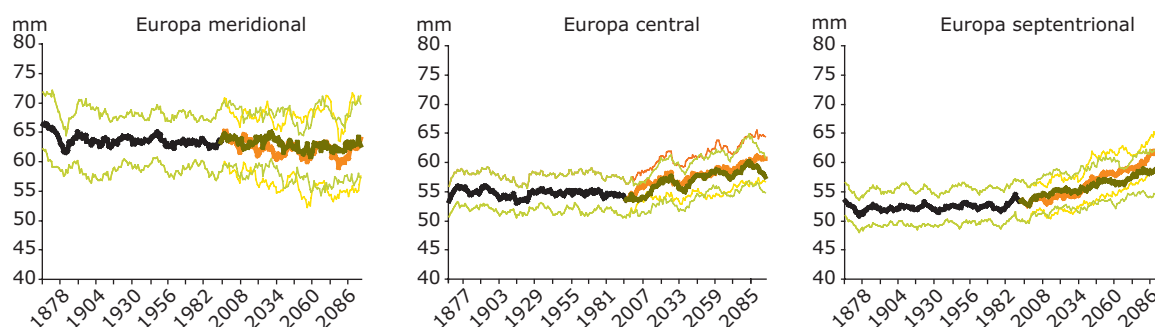
Figura 5.3 Porcentaje de Europa donde se registraron condiciones de sequía moderadas durante el siglo XX



Nota: Expresados como índices de precipitación estandarizada correspondientes a escalas temporales de doce meses. La línea discontinua representa la tendencia lineal. Los errores son errores típicos ± 2 en el gradiente.

Fuente: Lloyd-Hughes y Saunders, 2002.

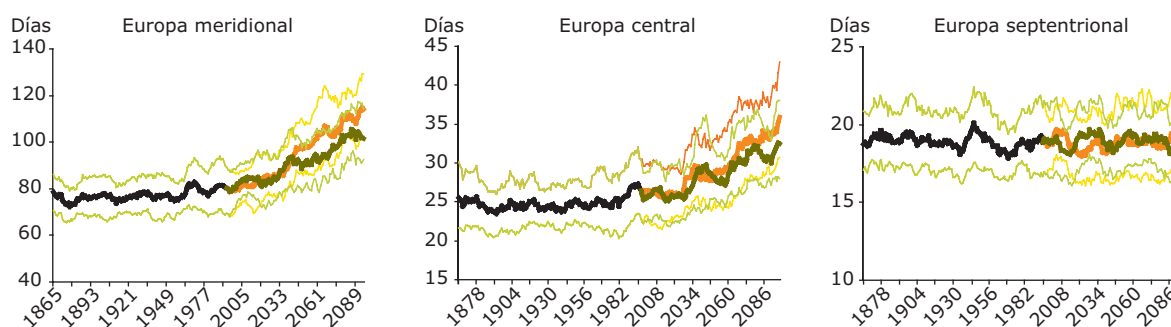
Figura 5.4 Simulación de la precipitación media máxima de cinco días en total en diferentes regiones europeas (1860-2100)



Nota: El siglo XX (negro), simulaciones con modelos correspondientes a los escenarios de nivel intermedio A1B (naranja) y bajo B1 (verde) de emisiones IE-EE del IPCC. Se muestran las medias conjuntas correspondientes. Los valores mínimo y máximo de los miembros del conjunto se indican con una línea fina verde (B1) y amarilla (A1B), respectivamente. Los datos se han ajustado con medias acumuladas a diez años.

Fuente: Sillmann y Roeckner, 2008.

Figura 5.5 Simulación del número medio máximo de días secos consecutivos en diferentes regiones europeas (1860-2100)



Nota: El siglo XX (negro), simulaciones con modelos correspondientes a los escenarios de nivel intermedio A1B (naranja) y bajo B1 (verde) de emisiones IE-EE del IPCC. Se muestran las medias conjuntas correspondientes. Los valores mínimo y máximo de los miembros del conjunto se indican con una línea fina verde (B1) y amarilla (A1B), respectivamente. Los datos se han ajustado con medias acumuladas a diez años.

Fuente: Sillmann y Roeckner, 2008.

Recuadro 5.4 Sequía

La sequía es un fenómeno natural definido como la escasez de agua por debajo de la media durante un período de tiempo prolongado. No debe confundirse sequía con aridez, que es una característica normal y a largo plazo de climas secos. No obstante, las consecuencias más graves de la sequía para el ser humano se registran en las regiones áridas, donde el agua es más escasa por naturaleza. Tampoco debe confundirse sequía con escasez de agua, que es reflejo de un desequilibrio a largo plazo entre el abastecimiento y la demanda de agua (por ejemplo, van Lannen *et al.*, 2007).

La sequía puede afectar a zonas europeas con un elevado y con un bajo índice de pluviosidad por igual y puede alargarse durante breves períodos de semanas o meses, o durante períodos más prolongados de varias estaciones, años e incluso décadas. En muchos casos, la sequía evoluciona paulatinamente, por lo que no es fácil de identificar y predecir. Las definiciones y los tipos de sequía más habituales son los siguientes:

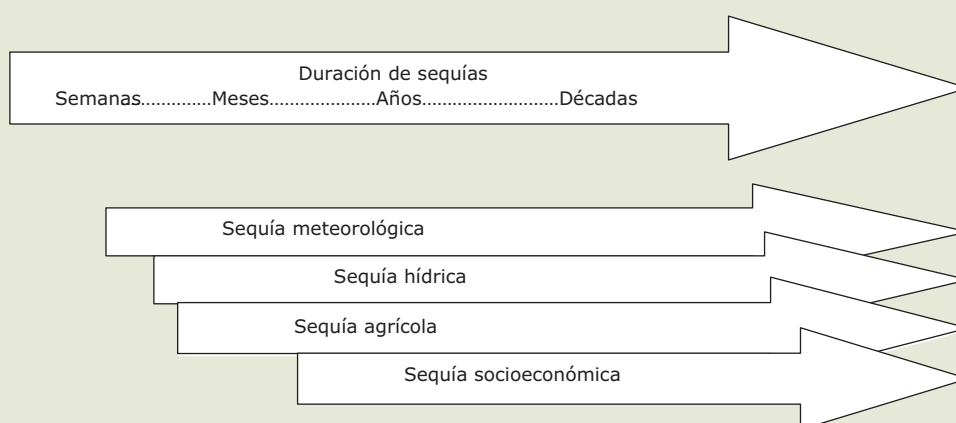
- Sequía meteorológica: desviación de la precipitación de los valores normales durante un largo período de tiempo, causa principal de los demás tipos de sequía.
- Sequía hidrológica: deficiencias en el abastecimiento de agua subterránea y de superficie, reflejo de los efectos y los impactos de las sequías meteorológicas.

- Sequía agrícola: déficit de la humedad del suelo que afecta a un cultivo concreto en un momento determinado.
- Sequía socioeconómica: desequilibrio entre la oferta y la demanda de un bien económico, que refleja tanto condiciones de sequía como actividades humanas.

El nivel de precipitación es el factor principal que determina el origen y la persistencia de todos los tipos de sequía. La escasez de precipitaciones origina escasez de agua para una actividad o un grupo determinados. Los impactos de la sequía sobre el ser humano y sobre el medio ambiente son el resultado de una combinación de la intensidad y la duración de los fenómenos de sequía y de la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas o los recursos hídricos, entre ellos las políticas de gestión del agua, las características de la infraestructura hídrica a escala local y regional y las respuestas sociales a las situaciones de sequía. La sequía es un fenómeno no limitado por las fronteras internacionales y que puede afectar a varios países simultáneamente o a las relaciones entre los mismos.

Las proyecciones climáticas indican que en condiciones más cálidas, las sequías pueden alargarse y ser más graves en las regiones actualmente proclives a este fenómeno, debido a la disminución de la pluviosidad y al aumento de la evaporación.

Figura 5.6 Diagrama de los tipos de sequía

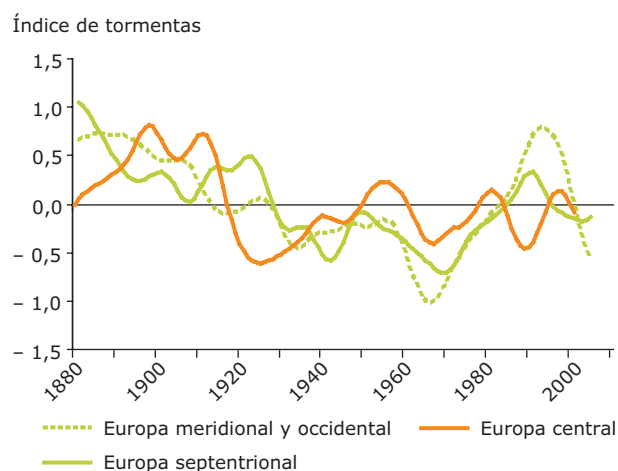


Fuente: Wade, 2007.

5.2.6 Tormentas y mareas tormentosas en Europa

Mensajes clave

- En Europa ha variado considerablemente la frecuencia de las tormentas, pero no existe una evolución clara a largo plazo. Entre finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX dicha frecuencia era relativamente elevada, registrándose a continuación un descenso en Europa central y en Europa septentrional. El elevado nivel de tormentas registrado en épocas recientes presenta similitud con el registrado a finales del siglo XIX.
- Pese a las variaciones en fenómenos tormentosos, los niveles de agua en los litorales europeos más vulnerables del mar del Norte y del Mediterráneo no han registrado variaciones significativas ligadas a las tormentas.
- Se prevé que la trayectoria de las tempestades extratropicales se desplace hacia los polos, con las variaciones consiguientes en las pautas de ventosidad, precipitación y temperaturas, como continuación de las pautas generales en las tendencias observadas durante el medio siglo anterior.
- Los modelos climáticos apuntan a una ligera disminución del número de tormentas y a una mayor severidad de las tormentas de especial intensidad.
- Las proyecciones sobre el final del siglo XXI muestran un aumento significativo de la elevación de las marejadas ciclónicas en la zona continental del mar del Norte y en el sureste de Inglaterra.

Figura 5.7 Índice de tormentas en varias zonas de Europa 1881-2005

Nota: Los valores positivos representan una mayor frecuencia de tormentas.

Fuente: Matulla *et al.*, 2007.

Relevancia

En Europa, las tormentas se caracterizan por vientos extremadamente fuertes próximos a la superficie y capaces de causar daños, asociados al paso de ciclones extratropicales de gran intensidad (Pinto *et al.*, 2007). En general, las tormentas en Europa septentrional o noroccidental se producen durante todo el año, pero en Europa central principalmente entre los meses de noviembre y febrero. Las mareas tormentosas consisten en elevaciones temporales del nivel del mar, que

superan el nivel de las mareas y provocan a menudo inundaciones costeras. Los fenómenos tormentosos pueden incidir con gran intensidad sobre sistemas vulnerables como las infraestructuras energéticas, forestales y de transportes, así como sobre la seguridad humana.

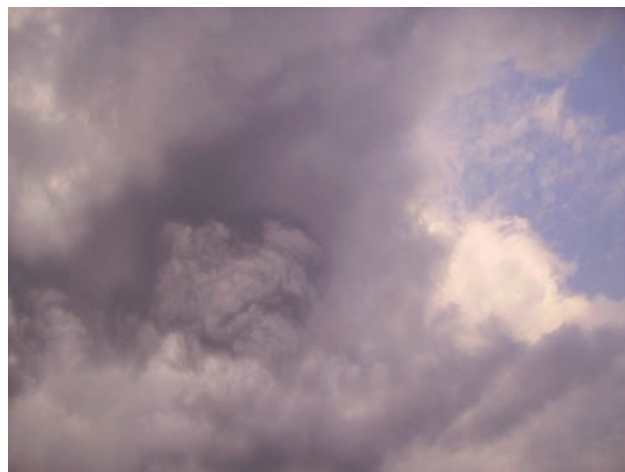
La actividad tormentosa en Europa y en la zona situada en las inmediaciones del Atlántico guarda estrecha relación con la circulación atmosférica (véase el recuadro 5.1). Pero la correlación entre el índice OAN y la frecuencia de tormentas en Europa varía en términos temporales y espaciales. Con frecuencia carecemos de datos de suficiente calidad basados en observaciones directas sobre la intensidad del viento, si bien la intensidad y la frecuencia de las tormentas pueden evaluarse indirectamente a través de las variaciones registradas en los campos de presión atmosférica. Hay que tener en cuenta que las proyecciones sobre cambios en la intensidad del viento están sujetas a una gran incertidumbre, debido, principalmente, a la incertidumbre de las proyecciones sobre la circulación atmosférica.

Las mareas tormentosas son el resultado de la actuación conjunta de la presión atmosférica y los vientos de gran intensidad sobre la superficie marina, y suelen producirse en aguas poco profundas. Una subida del nivel del mar incidirá directamente sobre los niveles extremos. Las variaciones en la profundidad del agua también pueden influir en el recorrido de las mareas, modificando el alcance de las zonas inundadas. Los futuros fenómenos de mareas tormentosas guardarán relación con las variaciones en el nivel del mar y la frecuencia de las tormentas.

Tendencias anteriores

La frecuencia de las tormentas experimentó una variación considerable en Europa durante el siglo pasado, pero sin que pudiera apreciarse ninguna tendencia definida a largo plazo. Esto se refleja en las series cronológicas del índice de tormentas (figura 5.7), basadas en datos correspondientes a la presión atmosférica que demuestran que la frecuencia de las tormentas en Europa central, septentrional y noroccidental fue relativamente alta durante finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX, para descender posteriormente en Europa central y septentrional. El aumento posterior registrado a finales del siglo XX fue más acusado en Europa noroccidental, y más espaciado y constante en Europa central. Las condiciones registradas en fechas más recientes han sido más normales o moderadas (Matulla *et al.*, 2007). A escala local, los datos sobre intensidad del viento registrado en las estaciones de medición pueden mostrar comportamientos diferenciados. En determinados lugares se observan ascensos y descensos que se prolongan durante varias décadas. Por ejemplo, en los Países Bajos se ha observado un acusado descenso de los vendavales en los últimos 40 años (Smits *et al.*, 2005).

Al evaluar los niveles de las mareas altas en el mar del Norte durante el siglo pasado se observaron claras variaciones de los índices medios (relacionados con la elevación del nivel del mar), pero ninguna variación relacionada con las tormentas (von Storch *et al.*, 2002). Asimismo, en la zona septentrional del mar Adriático, las tendencias hacia una elevación del nivel del mar y las mareas tormentosas consiguientes no



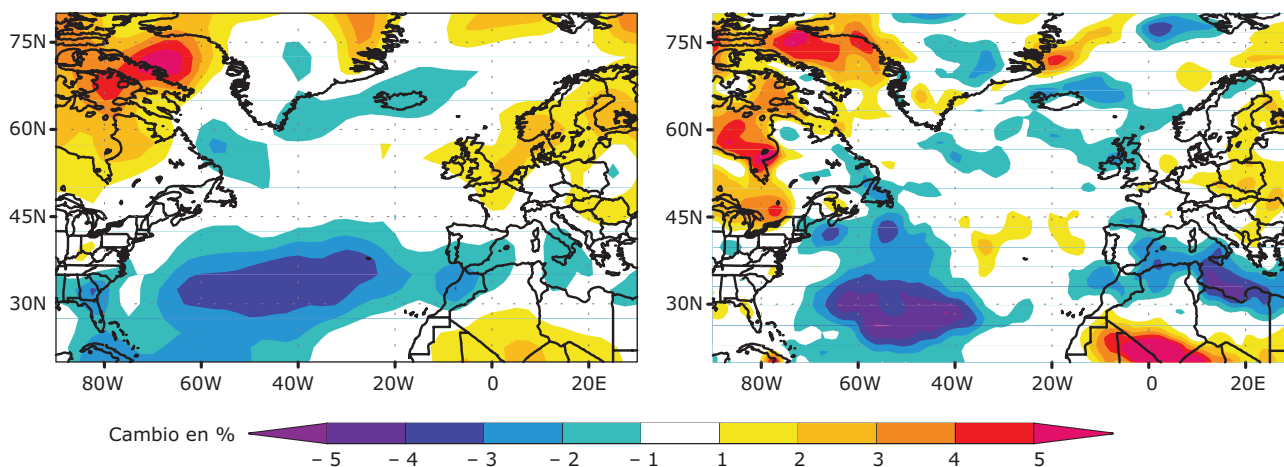
Fotografía: © Pavel Šťastný

pueden asociarse a ninguna tendencia observada en la frecuencia de las tormentas (Lionello, 2005).

Proyecciones

Se prevé que las trayectorias de las tormentas extratropicales se desplacen hacia los polos, con las consiguientes variaciones en las pautas de ventosidad, precipitaciones y temperaturas, manteniéndose las tendencias observadas durante el medio siglo pasado. (IPCC, 2007a). Se prevé una disminución del número total de tormentas, pero la intensidad de las más intensas podría aumentar, en función del modelo que se utilice (véase el mapa 5.10 donde se muestran distintas distribuciones máximas regionales del viento en diferentes modelos). Cabe señalar que

Mapa 5.10 Cambio relativo previsto de la velocidad media diaria máxima anual del viento entre 1961–2000 y 2050 utilizando modelos distintos



Nota: Los datos se han calculado para una altura de 10 m utilizando el escenario de + 2°C para 2050 (escenarios de emisiones A1B del IE-EE del IPCC) y el clima de referencia (1961–2000) de tres modelos similares (izquierda) y un modelo distinto, MIROC (derecha).

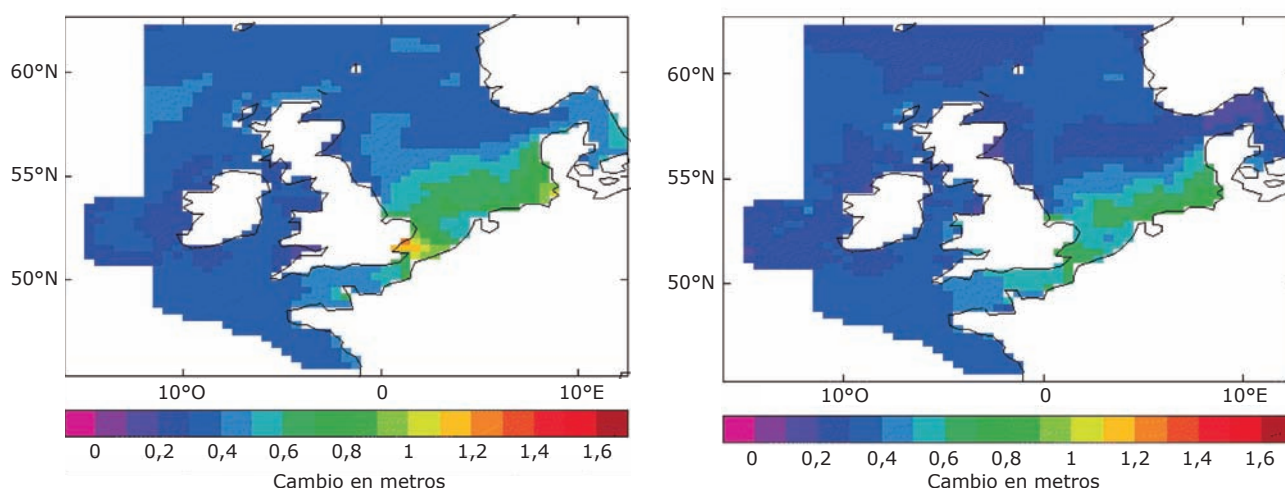
Fuente: van der Hurk *et al.*, 2006.

estas proyecciones siguen caracterizándose por un elevado grado de incertidumbre y por estar sujetas a los modelos.

Cronológicamente, las variaciones de la temperatura a gran escala y de la frecuencia de las tormentas tendían principalmente a estar disociadas, pero las proyecciones demuestran una relación más estrecha. Algunas proyecciones, basadas en el escenario de alto nivel de emisiones A2 del IE-EE del IPCC, muestran un incremento asociado de la temperatura y de la frecuencia de las tormentas intensas al norte del océano Atlántico. La futura frecuencia de las tormentas en esta región depende de las proyecciones sobre la temperatura de la superficie marina, el retroceso del hielo del Ártico y las variaciones en los campos de presión atmosférica (Fischer-Bruns *et al.*, 2005).

Las proyecciones sobre mareas tormentosas guardan una estrecha relación con la frecuencia de las tormentas en el futuro. Las proyecciones para finales del siglo XXI muestran un incremento significativo de mareas tormentosas más elevadas en la costa continental del mar del Norte, en torno a los 15 hasta casi 25 cm (Worth, 2005). En el litoral del Reino Unido, se prevé un notable incremento de la altura relativa de las mareas tormentosas en el escenario A2 de alto nivel de emisiones y en el escenario B2 de nivel medio, especialmente en la costa sureste de Inglaterra, donde incidirán con más intensidad las variaciones en la frecuencia de las tormentas y ya se está acusando un hundimiento del suelo más acelerado (Lowe y Gregory, 2005, mapa 5.11).

Mapa 5.11 Cambio en la altura de un fenómeno de nivel de agua extremo en un período de retorno de 50 años para finales del siglo XXI y para distintos escenarios



Nota: El nivel de agua se mide en relación con las mareas actuales, debido a cambios en la frecuencia de las tormentas atmosféricas, una elevación del nivel medio del mar y movimientos verticales del suelo. Se muestran los resultados correspondientes a los escenarios A2 (izquierda) y B2 (derecha), con el modelo HadRM3H. Un período de retorno de 50 años hace referencia a la probabilidad media de que se produzcan dos fenómenos en 100 años.

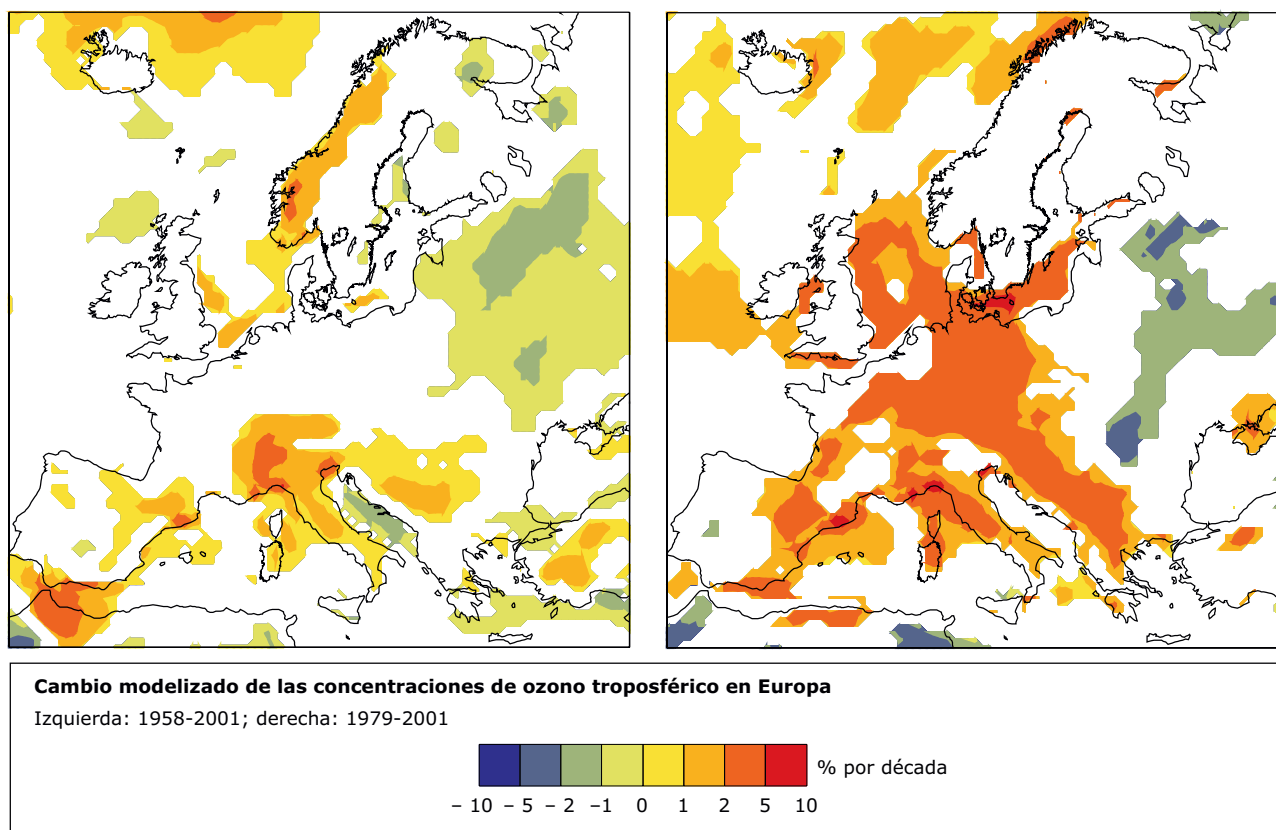
Fuente: Lowe y Gregory, 2005.

5.2.7 Contaminación atmosférica por ozono

Mensajes clave

- La variabilidad y el cambio climáticos han contribuido a incrementar las concentraciones medias de ozono en Europa central y sudoccidental (1 a 2% por década).
- Durante el verano de 2003, se produjeron episodios de alta concentración de ozono durante periodos especialmente largos y en zonas espacialmente extensas, sobre todo en la primera mitad de agosto. Estos episodios parecen ir asociados a las temperaturas extraordinariamente elevadas en amplias zonas de Europa y confirman, que será más frecuente la superación del umbral de información del ozono con el cambio climático previsto.
- Debido al aumento de los niveles de ozono previstos e inducidos por el clima, las políticas de reducción del ozono podrían resultar inadecuadas.

Mapa 5.12 Cambio modelizado de las concentraciones de ozono troposférico en Europa 1958-2001 y 1978-2001



Nota: Los cambios modelizados representados sólo se deben a la variabilidad del clima y al cambio climático. En las zonas en blanco no se ha observado ninguna tendencia significativa.

Fuente: Andersson *et al.*, 2007.

Relevancia

El ozono troposférico es uno de los contaminantes atmosféricos que más preocupación suscita en Europa. Se calcula que el ozono causa alrededor de 20.000 casos anuales de mortalidad (Comisión Europea, Aire puro para Europa, evaluación de impacto, 2006) y daños económicos provocados por la pérdida de cultivos equivalentes a 4.625 millones de euros al año (Holland

et al., 2006). El ozono se forma en la troposfera inferior como resultado de complejas reacciones químicas entre los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno, en presencia de luz solar. La legislación europea ha fijado unos umbrales de superación del ozono y unos techos nacionales máximos para las emisiones de precursores del ozono con objeto de proteger la salud humana y evitar daños en los ecosistemas, las cosechas y los materiales agrícolas.

Los episodios de niveles elevados de ozono se registran principalmente en periodos de tiempo seco y soleado (Schichtel y Husar, 2001; Rao *et al.*, 2003). El incremento previsto de los episodios de calor extremo en Europa (véase la sección 5.2.4) redundará, por consiguiente, en episodios de alta concentración de ozono que obligarán a adoptar unas medidas más enérgicas de reducción de las emisiones, así como a utilizar las medidas de adaptación disponibles, como la mejora de la información pública y los servicios sanitarios.

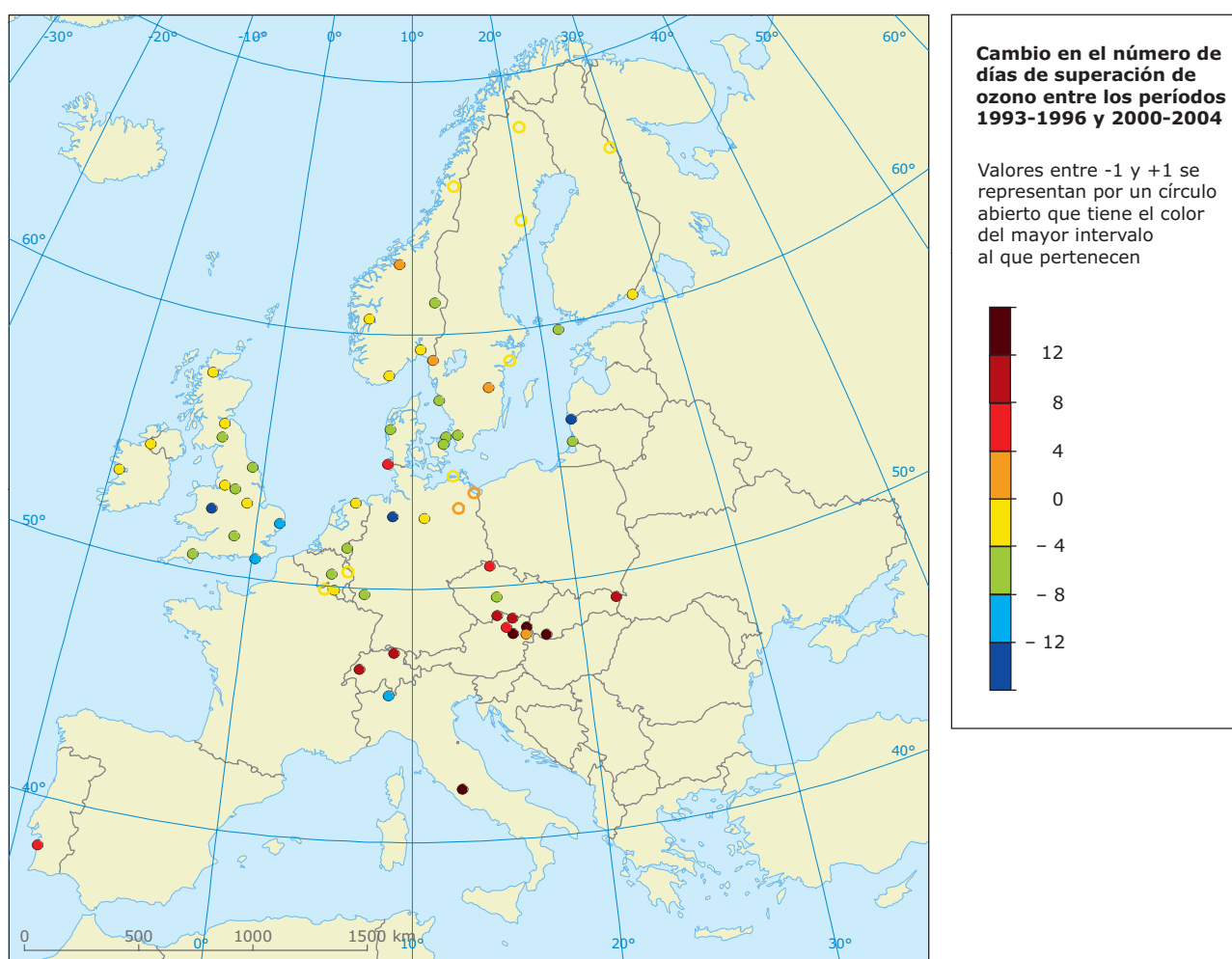
Tendencias anteriores

Un estudio de modelización desarrollado entre 1958 y 2001 (Andersson *et al.*, 2007) muestra que la variabilidad y el cambio climático contribuyeron al incremento de las concentraciones de ozono durante el período 1979-2001 en Europa meridional-central y meridional-occidental y a un descenso en Europa septentrional-oriental (mapa 5.12).

Dicho incremento debe atribuirse a la combinación de variaciones en la temperatura, las pautas de ventosidad, la nubosidad y la estabilidad. Además, la temperatura influye en varios procesos que afectan directamente a la formación del ozono, como la emisión de compuestos orgánicos biogénicos (por ejemplo el isopreno) y la fotodisociación del NO_2 .

De las observaciones se desprende igualmente que hay un nexo evidente entre la temperatura y la concentración de ozono. Un análisis estadístico de las mediciones de ozono y de temperatura efectuadas en Europa durante el período 1993-2004 demuestra que en Europa central-occidental y en la zona mediterránea, un cambio experimentado en la temperatura máxima diaria durante el período 2000-2004 frente al período 1993-1996, contribuyó a superaciones adicionales de los niveles de ozono (mapas 5.13 y 5.14). En Europa meridional y central, la evolución de la temperatura llevó a que durante ocho días más al año, como

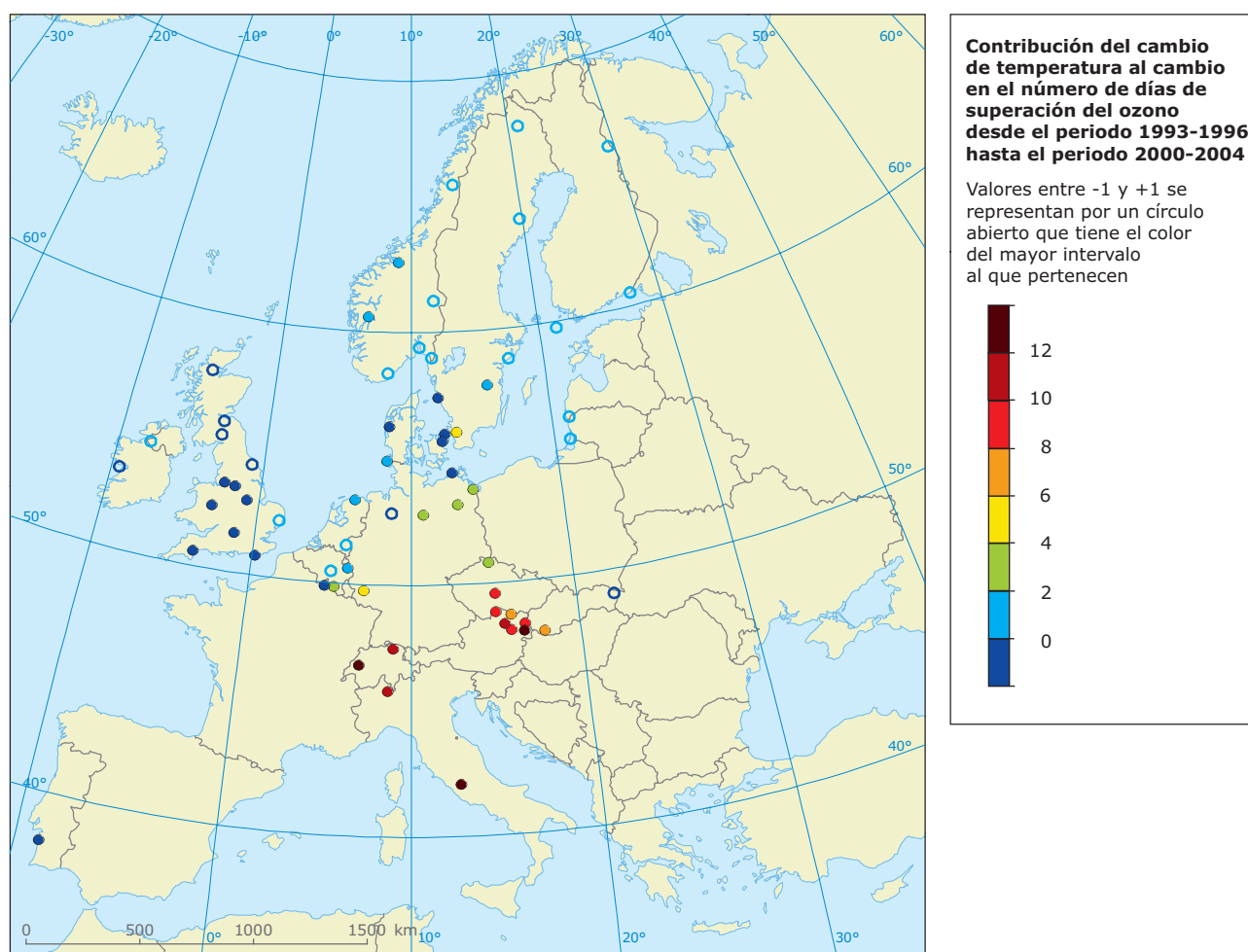
Mapa 5.13 Cambios en el número de días de superación de ozono entre 1993-1996 y 2000-2004



Nota: Por días de superación de ozono se entienden los días en que el promedio máximo de concentración de ozono en ocho horas rebasa los $120 \mu\text{g por m}^3$ (excepto en el año 2003).

Fuente: Van Dingenen *et al.*, 2008.

Mapa 5.14 Contribución del aumento de temperatura al cambio en el número de días de superación del ozono entre 1993-1996 y 2000-2004



Fuente: Van Dingenen *et al.*, 2008.

promedio, se rebasaran los $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir, el 17% de las superaciones totales observadas en la región.

Un análisis de las tendencias observadas durante los últimos doce años pone de manifiesto que en la UE, el promedio de horas en las que la concentración de ozono rebasó el umbral de información de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el verano de 2003 fue mayor que en todos los años anteriores (Fiala *et al.*, 2003).

Proyecciones

Las proyecciones relativas al ozono y otros contaminantes atmosféricos guardan un estrecho vínculo con las proyecciones relativas a radiación, temperatura, nubosidad y precipitaciones. A escala global, se espera que el efecto del cambio climático sobre las concentraciones de ozono troposférico sea leve debido a la reducción del ciclo vital del ozono como consecuencia del aumento de la humedad (Stevenson *et al.*, 2006). No obstante, las diferencias regionales pueden ser acusadas. Las regiones en las que se prevé que el cambio climático provoque con mayor frecuencia condiciones

anticiclónicas estables con elevadas temperaturas asociadas, grandes insumos de energía solar y escasa ventilación de la capa límite, podrían experimentar un deterioro en la calidad del aire (Hogrefe *et al.*, 2004; Sousounis *et al.*, 2002). Un estudio basado en un modelo a treinta años correspondiente al período 2071-2100 y basado en los escenarios A2 y B2 del IPCC de emisiones de CO_2 (pero con emisiones de contaminantes constantes) demuestra que las máximas concentraciones diarias de ozono y el promedio de concentraciones de ozono aumentarán sustancialmente durante el verano bajo las condiciones climáticas previstas en el futuro (Meleux *et al.*, 2007), especialmente en Europa central y occidental, en consonancia con las tendencias observadas en el pasado. Otra de las conclusiones del estudio es que los niveles de ozono durante el verano, bajo las condiciones climáticas previstas para el futuro, son similares a los registrados durante el verano excepcionalmente cálido de 2003. El impacto previsto sobre la salud humana podría verse agravado por el envejecimiento de la población, ya que las personas mayores son más vulnerables a la contaminación atmosférica (OCDE, 2008).

5.3 Criosfera

5.3.1 Introducción

La criosfera es la zona helada del planeta. Comprende toda la nieve permanente o estacional y los depósitos de hielo sobre la superficie terrestre, en los mares, los ríos y los lagos y el suelo (permafrost). En términos de masa y capacidad térmica es el segundo componente del sistema climático por detrás de los océanos. La nieve y el hielo desempeñan una función esencial en el equilibrio energético terrestre, ya que reflejan el calor procedente del sol debido a sus superficies reflectantes. A medida que la fusión sustituye las superficies claras por colores más oscuros, mayor es la cantidad de calor absorbida (el efecto albedo). Dos terceras partes de los recursos mundiales de agua dulce están congeladas. La nieve y el hielo desempeñan una función esencial en el ciclo hidrológico y son esenciales para el almacenamiento de agua dulce para estaciones más cálidas y a menudo más secas.

La criosfera es importante para el intercambio de gases entre la superficie terrestre y la atmósfera, entre ellos varios gases de efecto invernadero, como por ejemplo el metano. Por último, el hielo y la nieve son dos componentes determinantes de los ecosistemas en las zonas septentrionales del hemisferio norte y las zonas montañosas elevadas. Muchas plantas y animales han evolucionado para vivir en estas condiciones y no pueden sobrevivir sin ellas. La criosfera desempeña por ello un papel fundamental en varios aspectos del sistema climático: si el clima cambia, se ve afectada, pero sus cambios afectan a su vez al sistema climático. El seguimiento de estos cambios proporciona así un conocimiento crucial sobre el cambio climático.

Selección de indicadores

En el sistema climático los componentes de la criosfera desempeñan funciones importantes, pero divergentes.

- Las *capas de hielo* de Groenlandia y de la Antártida influyen activamente en el clima mundial a lo largo de escalas temporales muy prolongadas debido a su considerable volumen y extensión. Ahora bien, el nivel del mar puede verse afectado más rápidamente.
- La *nieve* también abarca una gran extensión, pero su volumen es relativamente pequeño. Constituye un elemento importante para interacciones y retroalimentaciones globales esenciales como el incremento de la absorción de calor (efecto albedo).
- El *hielo marino* también abarca una zona muy extensa. Su importancia radica en su efecto albedo y en sus impactos sobre la circulación oceánica, que traslada el calor procedente del ecuador hacia los polos.
- El *permafrost* en fase de fusión libera metano, un potente gas de efecto invernadero, procedente de la materia orgánica congelada. En combinación con la

nieve estacional influye en el contenido hidrológico del suelo y la vegetación.

- Los *glaciares*, los *casquetes glaciares* y el *hielo lacustre estacional*, con su volumen y superficie más reducidos, reaccionan relativamente pronto a los cambios climáticos, influyendo en los ecosistemas y las actividades humanas a escala local. Son buenos indicadores del cambio climático.

Los indicadores seleccionados ofrecen información estratégica sobre los siguientes componentes de la criosfera: los glaciares y la cubierta nivosa de Europa, la capa de hielo de Groenlandia, el hielo marino del Ártico y el permafrost montañoso de Europa central. Las condiciones del hielo lacustre y fluvial se presentan en el capítulo consagrado a los recursos hídricos.

Indicadores y vulnerabilidad

La criosfera es vulnerable al calentamiento de la tierra y constituye una manifestación clara del cambio climático. Incorpora variaciones climáticas a lo largo de escalas temporales muy dilatadas, desde variaciones milenarias hasta variaciones durante el año, lo que puede complicar la interpretación sobre por qué se producen los cambios.

En Europa, las zonas más vulnerables son las zonas montañosas elevadas y el Ártico. Tanto en el Ártico como en los Alpes europeos las temperaturas han experimentado un incremento superior a la media del planeta durante las últimas décadas, siendo el aumento experimentado en el Ártico en general dos veces superior. El incremento de las temperaturas durante las últimas décadas ha provocado una disminución sustancial de la cantidad de hielo y nieve, sobre todo en el hemisferio norte. Los glaciares europeos se están reduciendo, las zonas cubiertas de nieve cada vez son menos profundas y se sitúan más hacia el norte, el hielo marino del Ártico se está fundiendo y perdiendo grosor, el permafrost se está empezando a deshelar y la placa de hielo de Groenlandia cada vez muestra más indicios de desintegración y deshielo en los extremos. Esta evolución se acelerará ya que, según las previsiones, el cambio climático continuará. Pero existe gran incertidumbre respecto a varios componentes esenciales de la criosfera: aún no es posible predecir con fiabilidad cuándo se producirá la fusión completa del hielo marino ártico en verano, ni tampoco es posible predecir con certeza el futuro de la capa de hielo de Groenlandia.

Fuentes de datos e información

La disponibilidad y la calidad de los datos relativos a los componentes de la criosfera varían considerablemente. El Servicio Mundial para la Vigilancia de los Glaciares (World Glacier Monitoring Service, WGMS) situado en Zúrich proporciona datos a largo plazo de buena calidad y cantidad sobre los glaciares de todas las zonas glaciares de Europa. Los datos sobre la cubierta nivosa y el hielo marino

ártico se miden a escala mundial desde que se iniciaran las mediciones por satélite en la década de los setenta y se puede acceder a ellos, por ejemplo, a través del Centro Nacional de Datos sobre Hielo y Nieve (*Global Snow and Ice Data Centre*. NSIDC) situado en Boulder, Estados Unidos. No obstante, los sensores de los satélites han mejorando paulatinamente, permitiendo efectuar nuevas observaciones. Por este motivo, a menudo se carece de datos sobre la placa de hielo de Groenlandia que abarquen toda la zona y cuya antigüedad supere los quince años. Lo mismo sucede con

los datos sobre el permafrost montañoso medido en las perforaciones efectuadas en las paredes de roca congeladas.

La comunidad científica conoce bien las lagunas existentes en la base de datos de la criosfera y se está trabajando con el fin de mejorar dicha información, como por ejemplo durante el Año Polar Internacional (API) 2007-2008.

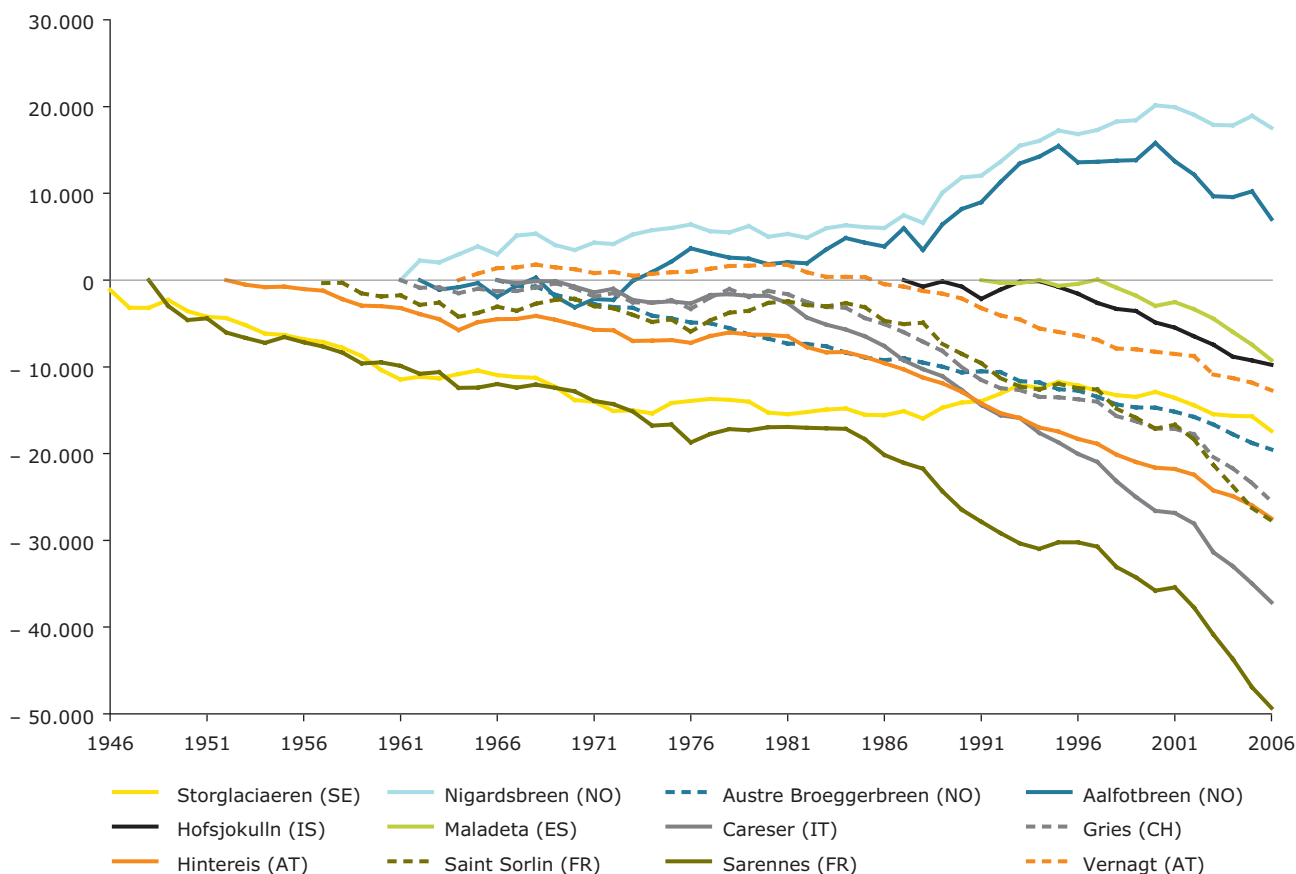
5.3.2 Glaciares

Mensajes clave

- La inmensa mayoría de los glaciares de las regiones glaciares europeas se encuentra en fase de retroceso.
- Desde 1850, los glaciares de los Alpes europeos han perdido aproximadamente dos terceras partes de su volumen, observándose una clara aceleración a partir de la década de los ochenta.
- Está previsto que el retroceso de los glaciares continúe. Un aumento de 3°C en la temperatura media del aire en verano podría reducir la cubierta glaciaria actual de los Alpes europeos aproximadamente en un 80%
- También se prevé que debido al constante cambio climático desaparezcan prácticamente la totalidad de los glaciares más pequeños y una tercera parte de la zona glaciaria de Noruega para 2100.
- El retroceso de los glaciares entraña graves consecuencias para los caudales de los ríos. Afecta al abastecimiento de agua dulce, a la navegación fluvial, al riego y a la producción de electricidad. Podría ocasionar peligros naturales y daños en las infraestructuras.

Figura 5.8 Balance neto específico acumulativo de masas de glaciares de todas las regiones glaciares europeas 1946-2006

Balance neto específico acumulativo de masas en mm equivalentes de agua



Nota: Los valores positivos representan un crecimiento del hielo, los valores negativos una pérdida del hielo.

Fuente: Base de datos Fluctuación de los Glaciares (FoG), Servicio Mundial para la Vigilancia de los Glaciares (www.wgms.ch), 2007.

Relevancia

Las variaciones de los glaciares figuran entre las indicaciones más visibles de los efectos del cambio climático. Los glaciares son especialmente sensibles a los cambios del clima mundial, porque su temperatura superficial se aproxima al punto de congelación/fusión. (Zemp *et al.*, 2006). Las fluctuaciones de los glaciares revelan una marcada relación con la temperatura del aire durante el siglo XX (Greene, 2005). Por ello, el cambio en el equilibrio de masas de los glaciares se interpreta como una señal inmediata de las tendencias del calentamiento de la tierra. Un equilibrio negativo indica que la pérdida de hielo, debida principalmente a la fusión y a los desprendimientos estivales, es mayor que la acumulación de la niviosidad invernal.

Los glaciares constituyen un importante recurso de agua dulce y sirven como «depósitos de agua» para las regiones situadas a cotas más bajas. En las próximas décadas podemos esperar, en primer lugar, un aumento del flujo de agua procedente de la fusión de los glaciares hacia los ríos. No obstante, a medida que disminuyan los glaciares disminuirá también la cantidad anual de agua procedente de la fusión y, en consecuencia, su contribución al caudal de los ríos y a la elevación del nivel del mar, lo que repercutirá negativamente en el abastecimiento de agua dulce, la navegación fluvial, los ecosistemas que se nutren del agua de los ríos, las instalaciones de riego y la producción de electricidad. Además, la liberación de solutos procedentes de la fusión de los glaciares rocosos puede afectar negativamente a la calidad del agua de los lagos de alta montaña a causa de la intrusión de metales pesados (Thies *et al.*, 2007).

Un fuerte retroceso de los glaciares puede provocar inestabilidades susceptibles de generar, a su vez, incidentes peligrosos como el desbordamientos de los lagos glaciares, avalanchas de hielo y rocas y corrimientos de tierra (Pralong y Funk, 2005; Huggel *et al.*, 2007). Todo esto puede dañar las infraestructuras. El retroceso de los glaciares afecta al turismo y a los deportes de invierno en montaña (OCDE, 2007) y altera el aspecto de los paisajes montañosos.

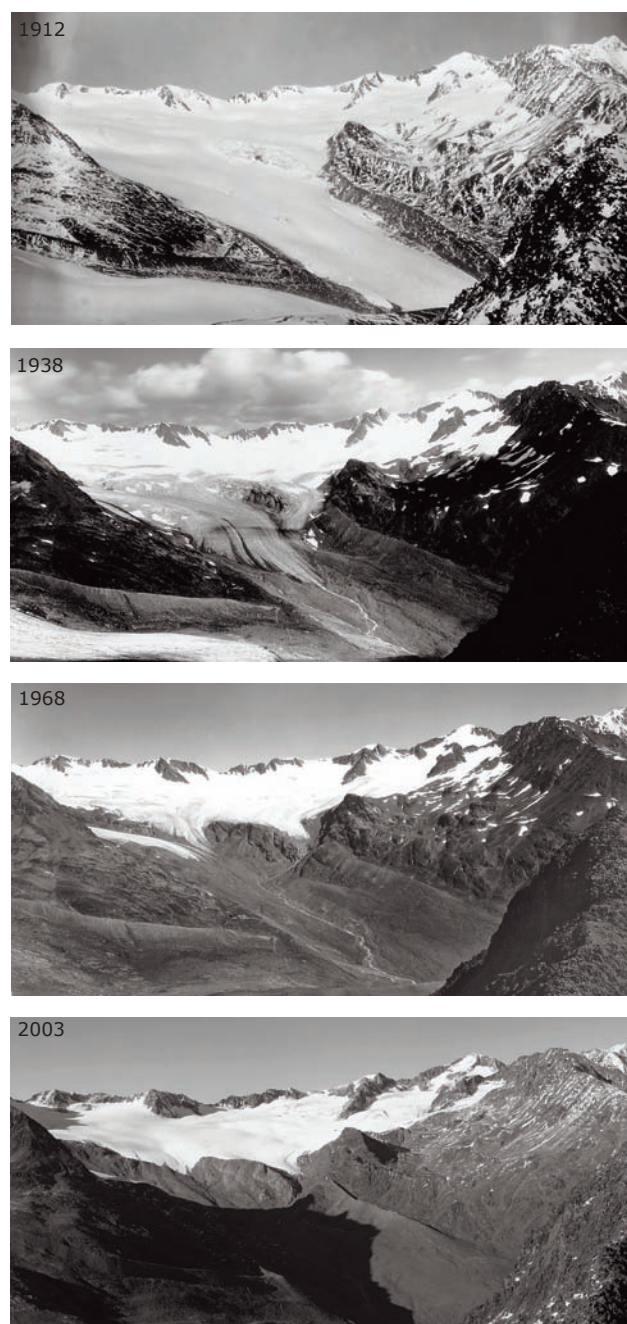
Un mejor seguimiento de los glaciares, unido a opciones de adaptación en materia de gestión hidráulica, desecación de los lagos glaciares y construcción de muros de contención pueden reducir algunos de los riesgos y las consecuencias negativas, pero no todos.

Tendencias anteriores

De acuerdo con los excelentes registros de datos del WGMS, se ha producido una pérdida general de la masa de los glaciares en la mayoría de las regiones glaciares de Europa (figura 5.8). El retroceso de los glaciares en Europa comenzó a partir del momento de máxima ampliación de los glaciares durante la denominada

Pequeña Edad del Hielo a mediados del siglo XIX. En los Alpes, entre 1850 y el final de la década de los setenta, los glaciares perdieron un tercio de su superficie y la mitad de su volumen. Desde 1985 se observa una aceleración del retroceso de los glaciares que en el año 2000 había ocasionado una pérdida del 25% del hielo restante (Zemp *et al.*, 2006). Posteriormente, durante el verano extraordinariamente cálido y seco de 2003 se produjo una pérdida adicional de entre el 5 y el 10% (Zemp *et al.*, 2005) que resultó en una pérdida total de

Figura 5.9 Reducción del glaciar Vernagtferner, Austria



Nota: Se ha representado la reducción del glaciar en los años 1912, 1938, 1968 y 2003.

Fuente: Comisión de glaciología, Academia bávara de ciencias; Munich, 2006 (www.glaziologie.de).

aproximadamente dos tercios de la masa de hielo de 1850: este hecho viene ilustrado por la reducción del glaciar Vernagtferner en Austria (figura 5.9).

Los glaciares costeros de Noruega, que se expandieron y adquirieron masa a causa del aumento de la niviosidad en invierno hasta finales de la década de los noventa, también han entrado en fase de retroceso debido a una disminución de la precipitación invernal y al aumento de la fusión estival (Nesje *et al.*, 2008; Andreassen *et al.*, 2005).

Los glaciares de Svalbard están experimentando una pérdida de masa en cotas más bajas y los frentes de la gran mayoría de los glaciares de la zona están en retroceso (Haeberli *et al.*, 2005, 2007; Nuth *et al.* 2007). Algunos casquetes de hielo de la zona nororiental de Svalbard parecen estar aumentando su espesor en cotas más elevadas (Bamber *et al.*, 2004; Bevan *et al.*, 2007). No obstante, las estimaciones acerca de Svalbard en general demuestran que el balance total es negativo (Hagen *et al.*, 2003) y existen claras señales de una aceleración de la fusión, al menos en la zona occidental de Svalbard (Kohler *et al.*, 2007).

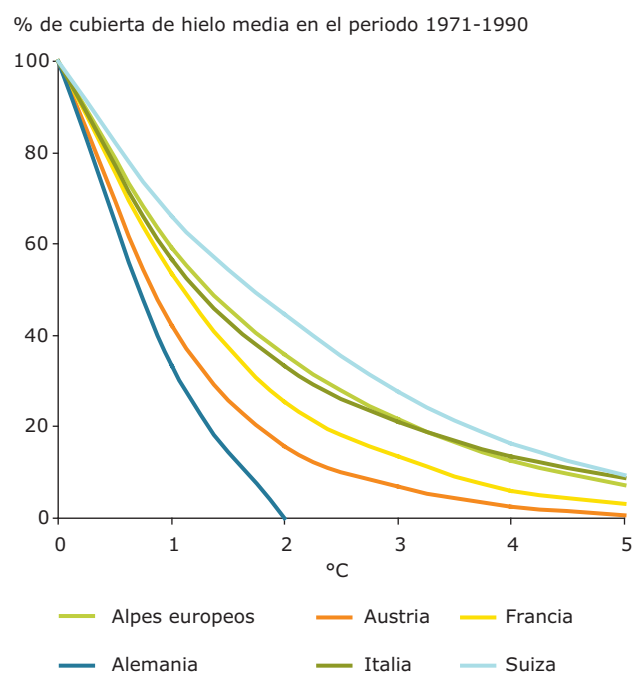
Existen conclusiones muy recientes del WGMS (PNUMA, 2008) que indican un claro incremento de la reducción anual del espesor medio de hielo de los glaciares a escala mundial, desde el cambio de milenio (0,5 m) frente al período 1980-1999 (0,3 m). En Europa (Escandinavia, los Alpes y los Pirineos) se han producido algunas de las reducciones más acusadas.

El retroceso centenario de los glaciares europeos se atribuye fundamentalmente al aumento de las temperaturas estivales. Sin embargo, los cambios experimentados en las precipitaciones invernales, el descenso del albedo glaciar a causa de la falta de niviosidad en verano y varios otros procesos de retroalimentación están alterando la pauta a escala regional y decenal. Como consecuencia del reciente y acusado calentamiento, la desintegración y el decrecimiento por ablación se están convirtiendo en las causas principales de la reducción de los glaciares en los Alpes europeos en los últimos años (Paul *et al.*, 2004).

Proyecciones

De acuerdo con un análisis de sensibilidad recientemente publicado (Zemp *et al.*, 2006), si se produjese un aumento de 3°C de la temperatura del aire en verano, los Alpes podrían perder aproximadamente el 80% de su cubierta de hielo media correspondiente al período 1971-1990; para compensar la pérdida se necesitaría un incremento de las precipitaciones del 25% por cada grado centígrado. En la figura 5.10 se presenta una modelización de los restos de los glaciares alpinos como consecuencia del calentamiento. Sugiyama *et al.* (2007) investigaron la evolución potencial del glaciar suizo del Ródano en el

Figura 5.10 Restos modelizados de la capa glaciar en los Alpes europeos para un aumento de la temperatura media del aire en verano de entre 1 y 5°C



Nota: El 100% se refiere a la cubierta de hielo media en el período 1971-1990.

Fuente: Zemp *et al.*, 2006.

siglo XXI utilizando un modelo que hacía más hincapié en la dinámica de flujo glaciar. Descubrieron un aumento en la pérdida de masa y un descenso de la capa glaciar, pero a un ritmo cada vez más lento. Sin embargo, ninguno de los estudios de modelización tuvo en cuenta procesos de retroalimentación como el desarrollo de lagos glaciares, que podrían acelerar dramáticamente el retroceso de los glaciares.

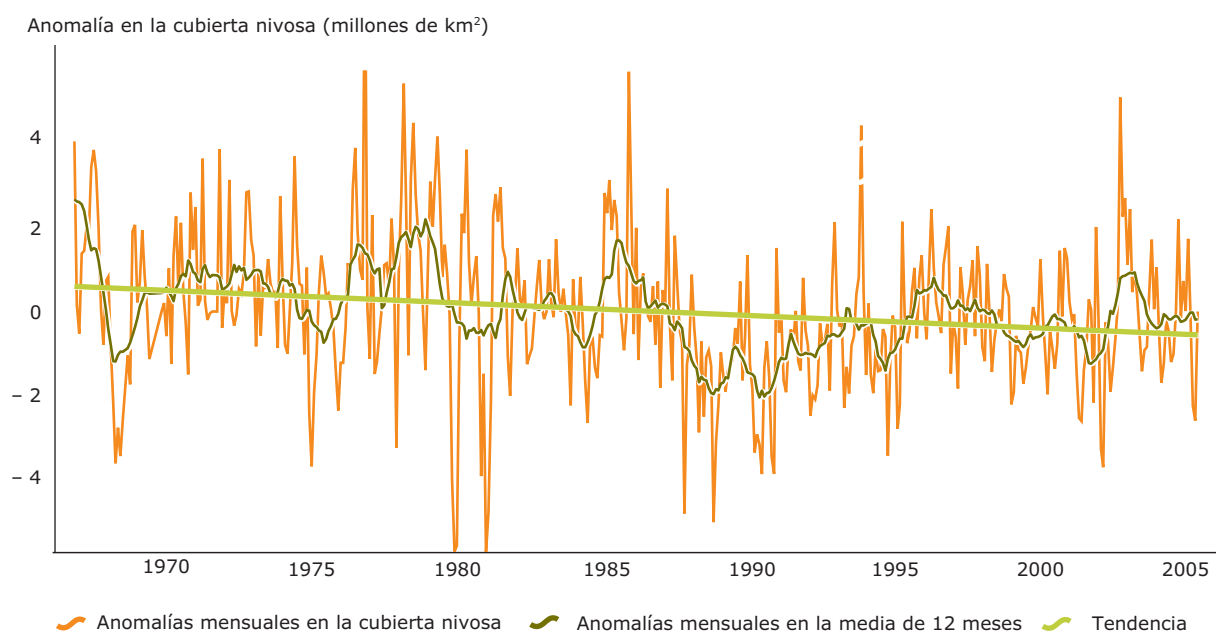
Recientes modelos climáticos correspondientes a Noruega y basados en cálculos elaborados por el Hadley Centre británico y el Instituto Max Planck de Alemania que aplican el escenario de emisiones B2 del IE-EE, indican un aumento de 2,3°C en la temperatura estival y un aumento del 16% en la precipitación invernal en el período 2070-2100 con respecto al período 1961-1990. Como consecuencia, es previsible que desaparezca la práctica totalidad de los glaciares noruegos más pequeños, así como que se experimente una reducción de aproximadamente un tercio en la zona glaciar y en el volumen total para 2100 (Nesje *et al.*, 2008).

5.3.3 Cubierta nivosa

Mensajes clave

- En el hemisferio norte, la cubierta nivosa ha experimentado un descenso del 1,3% por década durante los últimos 40 años. Las mayores pérdidas se producen durante primavera y verano.
- Las simulaciones con modelos pronostican reducciones de la cubierta nivosa generalizadas en cuanto al alcance y la duración en Europa durante el siglo XXI.
- Los cambios en la cubierta nivosa afectan a la reflectividad de la superficie terrestre, al régimen fluvial, a la vegetación, a la agricultura y a la ganadería, al turismo, a los deportes de invierno, al transporte y a la producción de electricidad.

Figura 5.11 Variaciones en la extensión de la cubierta nivosa del hemisferio norte 1966-2005



Nota: Las anomalías en la cubierta nivosa se representan en las desviaciones de la media mensual.

Fuente: Brodzik, 2006 (datos de la NOAA); PNUMA, 2007. (<http://maps.grida.no/go/graphic/northern-hemisphere-snow-cover-extent-anomalies-1966-2005>).

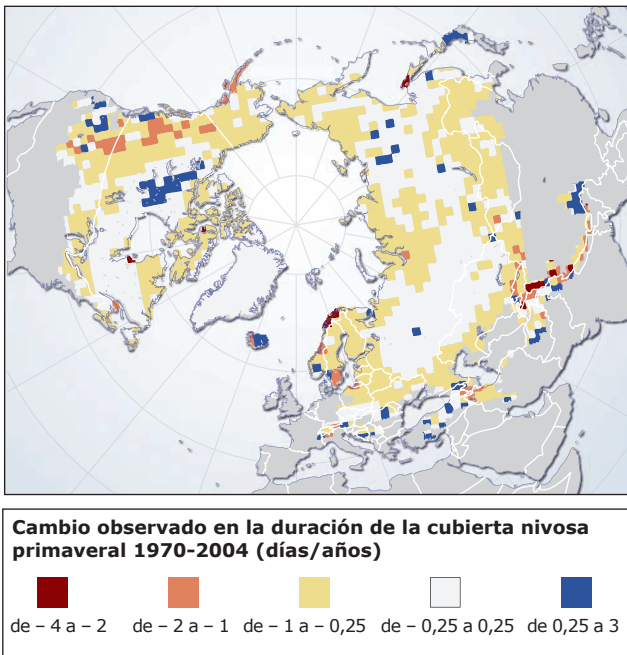
Relevancia

La nieve cubre más del 33% de la superficie terrestre de la zona al norte del ecuador entre los meses de noviembre y abril. Alcanza un máximo en torno a los 45,2 millones de km² en enero y un mínimo en torno a los 1,9 millones de km² en agosto (Clark *et al.*, 1999).

La cubierta nivosa constituye un importante mecanismo de retroalimentación del sistema climático. Su extensión depende del clima, por ejemplo, en términos de temperatura y precipitación, y de la radiación solar. Pero también influye sobre el clima y los sistemas relacionados con el clima a causa de su gran reflectividad, sus propiedades de aislamiento, los efectos que produce sobre los ecosistemas y los recursos hídricos y el enfriamiento de la atmósfera. Por

este motivo, la reducción de la cubierta nivosa reduce la reflexión de la radiación solar y contribuye a acelerar el cambio climático. Los cambios en la extensión, la duración, el espesor y las propiedades de la cubierta nivosa pueden afectar a la disponibilidad de recursos hídricos para el consumo doméstico, la navegación y la producción de electricidad. Los cambios en la cubierta nivosa afectan al bienestar del ser humano a causa de sus efectos sobre la agricultura, las infraestructuras, los modos de vida de los pueblos indígenas del Ártico, los peligros ambientales y los servicios de ocio invernales. El retroceso de la cubierta nivosa puede reducir los problemas de mantenimiento de las vías férreas y las carreteras durante el invierno, incidiendo en la explotación y el transporte de petróleo y gas en las regiones frías (PNUMA, 2007; ACIA, 2004).

Mapa 5.15 Cambio observado en la duración de la cubierta nivosa primaveral 1970-2004



Nota: Los datos se muestran en días/año. Los valores negativos (marrón/amarillo) indican una reducción en la duración de la cubierta nivosa. Los valores positivos (azul) indican una ampliación en la duración de la cubierta nivosa.

Fuente: R. Brown, Environment Canada; datos procedentes de D. Robinson, Universidad de Rutgers. (<http://maps.grida.no/go/graphic/trends-in-spring-snow-cover-durationfor-the-northern-hemisphere-1970-2004>).

La capa de nieve poco profunda situada en cotas bajas en regiones templadas es la más sensible a las fluctuaciones de la temperatura y por ende la más susceptible de disminuir con el aumento de la temperatura (IPCC, 2007a, b).

En varios de estos impactos, la adaptación puede reducir los efectos negativos de los cambios en la cubierta nivosa. Algunas opciones de adaptación, como por ejemplo la fabricación de nieve artificial en los Alpes para mantener el turismo como fuente principal de ingresos, tienen que equilibrarse con respecto a sus implicaciones negativas para la mitigación, debido al aumento del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Tendencias del pasado

Los datos de la vigilancia por satélite (base de datos NESDIS del NOAA) correspondientes al período 1966-2005 muestran que la extensión mensual de la cubierta nivosa del hemisferio norte se está reduciendo un 1,3% por decenio (figura 5.11), observándose un mayor retroceso en primavera y en verano (PNUMA, 2007). La cubierta nivosa se redujo en todos los meses a excepción de noviembre y diciembre, observándose una reducción más significativa entre mayo y

agosto (Brodzik *et al.*, 2006). Esta disminución vino acompañada de un descenso del contenido hídrico durante la primavera, un adelanto de casi dos semanas en la desaparición de la cubierta nivosa continua en primavera (mapa 5.15) durante el período 1972-2000 (Dye, 2002), una disminución de la frecuencia de los días de helada (días con temperatura mínima inferior a 0°C) y unos períodos de heladas (período de días de helada consecutivos) más reducidos.

Las tendencias en cuanto a la duración y la profundidad de la cubierta nivosa del hemisferio norte en mayores latitudes varían en función de las distintas regiones. A diferencia de la reducción en la duración de la cubierta nivosa observada en América del Norte, en la mayor parte septentrional de Eurasia se ha observado un incremento a largo plazo de la duración y la profundidad (Kitaev *et al.*, 2005).

Las tendencias de la cubierta nivosa en las regiones montañosas europeas varían considerablemente en función de las regiones y la altitud. Se han documentado disminuciones recientes de la cubierta nivosa en las montañas de Suiza (por ejemplo, Scherrer *et al.*, 2004), Eslovaquia (Vojtek *et al.*, 2003), y en las estaciones españolas de esquí de Sierra Nevada y de los Pirineos (Rodríguez *et al.*, 2002), pero durante el período 1931-2000 no se observó ningún cambio en Bulgaria (Petkova *et al.*, 2004). Las disminuciones, cuando se observaron, fueron mayores en cotas más bajas, y Scherrer *et al.* (2004) atribuyeron estadísticamente las disminuciones observadas en los Alpes suizos al calentamiento. Las zonas de llanuras de Europa central se caracterizan por unas reducciones recientes de la duración anual de la cubierta nivosa de aproximadamente 1 día/año (Falarz, 2002). En Abisko, en la zona del subártico de Suecia, se registran aumentos en la profundidad de la nieve desde 1913 (Kohler *et al.*, 2006) y en Finlandia se han observado tendencias que apuntan a un aumento de la profundidad máxima de la nieve, pero a una reducción de la estación nivosa (Hyvärinen, 2003).



Fotografía: © M. Zebisch, 2004

Proyecciones

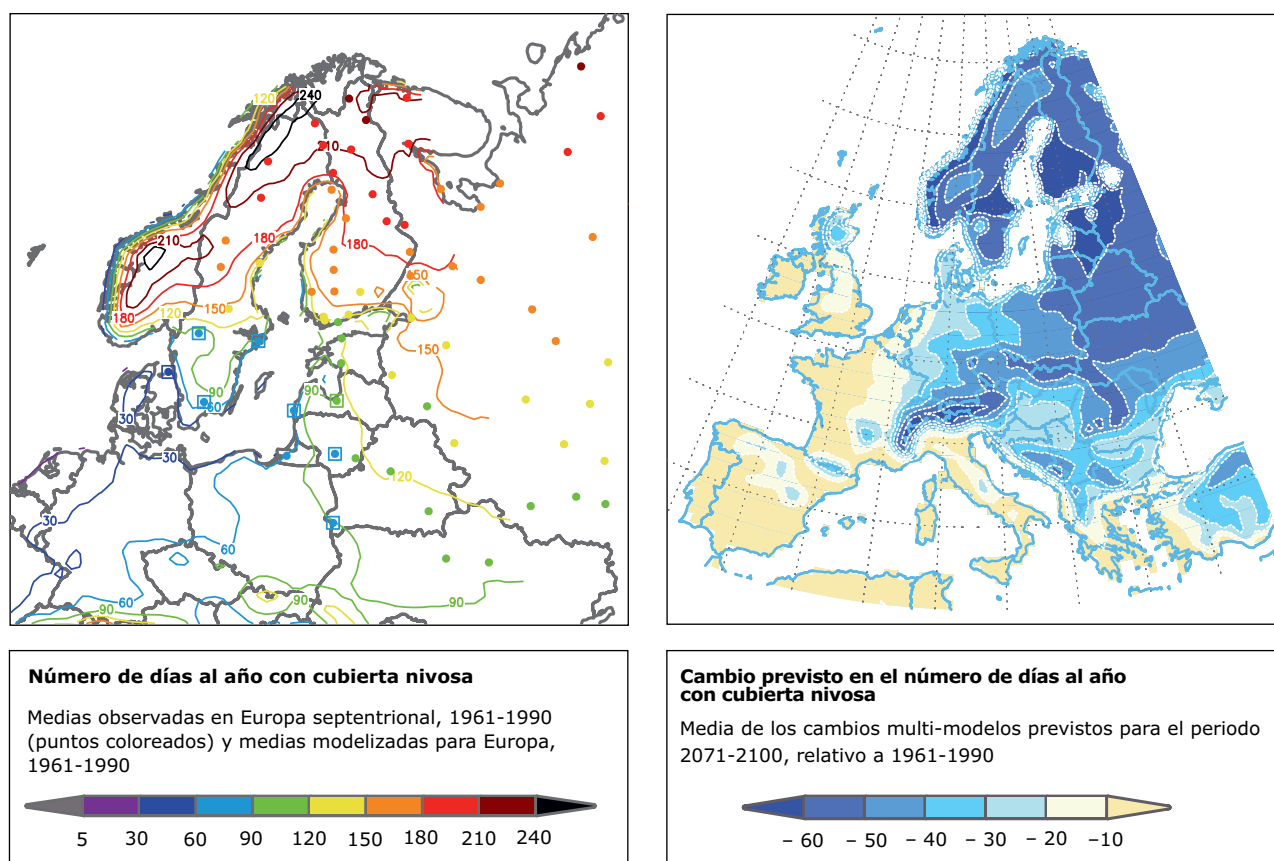
Las simulaciones con modelos pronostican reducciones generalizadas de la cubierta nivosa durante el siglo XXI (IPCC, 2007a). Los modelos individuales muestran descensos de entre el 9 y el 17% en la cubierta nivosa media anual del hemisferio norte para finales del siglo XXI (ACIA, 2004). Aunque se prevé un aumento de la precipitación invernal en Europa septentrional y central (Christensen y Christensen, 2007), está previsto que la reducción de los fenómenos de heladas asociada al aumento de las temperaturas reduzca el número de días con cubierta nivosa (mapa 5.16). Se prevén descensos de más de 60 días con cubierta nivosa (durante el período 2071-2100 en comparación con el período 1961-1990) en la zona norte del mar Báltico, en los taludes occidentales de las montañas escandinavas y en los Alpes (Jylhä *et al.*, 2007). Se prevé un retraso en el comienzo de la época de acumulación de nieve y un adelanto en la finalización de la misma, y también se prevé un descenso en la cubierta nivosa durante dicha estación (Hosaka *et al.*, 2005).

El límite de las nieves perpetuas de los Alpes europeos aumenta unos 150 metros por cada grado centígrado

que aumenta la temperatura media invernal (Beniston, 2003). Las aplicaciones del modelo climático regional, de acuerdo con los escenarios de emisiones A1B, B1 y A2 del IE-EE, pronostican inviernos más suaves con un aumento de la precipitación en esta región, que cada vez se producirá más en forma de lluvia (Jacob *et al.*, 2007). Un estudio publicado recientemente por Hantel y Hirtl-Wielke (2007) acerca de la sensibilidad de la cubierta nivosa alpina a la temperatura señalaba la existencia de una variación característica y marcada de la sensibilidad de la cubierta nivosa al cambio de la temperatura con la altitud. En el estudio se calculó que un aumento de un grado centígrado de la temperatura en Europa central (5-25°E y 42,5-52,5°N) originaría una reducción de alrededor de 30 días en la duración de la nieve (una cubierta nivosa mínima de 5 cm) durante el invierno en la altura de mayor sensibilidad (alrededor de 700 m).

Es previsible que la nivosidad en las zonas montañosas bajas sea cada vez menos predecible y fiable durante los próximos decenios (Elsasser y Bürki, 2002), lo que repercutirá en la fiabilidad de la nieve natural y, por ello, dificultará la atracción de turistas y amantes de los deportes de invierno (OCDE, 2007).

Mapa 5.16 Número de días al año con cubierta nivosa en las zonas terrestres europeas durante 1961-1990 y cambio previsto para 2071-2100



Nota: Los resultados se han basado en siete simulaciones con modelos climáticos regionales.

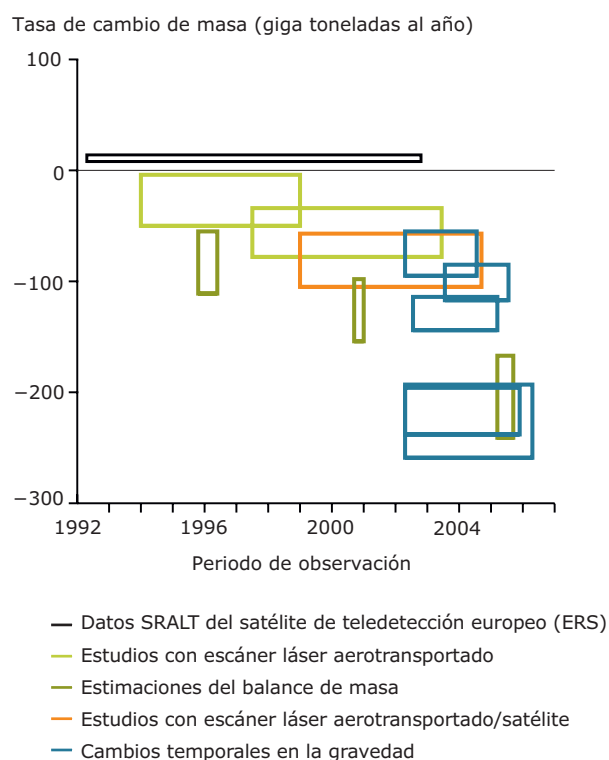
Fuente: Jylhä *et al.*, 2007.

5.3.4 La capa de hielo de Groenlandia

Mensajes clave

- La capa de hielo de Groenlandia cambió en el decenio de los noventa dejando de tener prácticamente un balance de masa para perder aproximadamente 100.000 millones de toneladas de hielo al año. Las pérdidas de hielo podrían haberse vuelto a duplicar para 2005. La pérdida de hielo se debe más al flujo acelerado de los glaciares de aflujo hacia el mar que a la fusión.
- Se calcula que la contribución de la pérdida de hielo de la capa de hielo de Groenlandia a la elevación mundial del nivel del mar fue de entre 0,14 y 0,28 mm al año durante el período 1993-2003, habiendo aumentado desde entonces. A largo plazo, las capas de hielo que se fusionan son las más susceptibles de elevar el nivel del mar.
- Todavía no es posible hacer predicciones fiables del futuro de las capas de hielo. Se sabe muy poco sobre los procesos que causan un movimiento más acelerado de los glaciares y se carece de observaciones a largo plazo.

Figura 5.12 Cambios estimados en la masa de hielo de Groenlandia 1992-2006



Nota: Los rectángulos representan el período cronológico de las observaciones (horizontal) y las estimaciones superiores e inferiores del balance de masa para ese período (vertical), calculados con distintas técnicas tal y como indican los códigos de colores. La incertidumbre de la evaluación de la tendencia es mayor en los períodos en los que las zonas verticales de los rectángulos de las distintas estimaciones no se solapan. Los principales factores que determinan si la capa de hielo de Groenlandia gana o pierde hielo (balance de masa) son los siguientes: (1) Balance de masa en la superficie= diferencia entre la acumulación neta de nieve y la pérdida debida a la fusión (escorrentía del agua de la fusión y evaporación) y (2) Pérdida de hielo dinámica debida a los movimientos de los glaciares que provocan desprendimientos de los icebergs.

Fuente: Thomas *et al.*, 2008.

Relevancia

Las capas de hielo de Groenlandia y de la Antártida contienen entre el 98 y el 99% del hielo de agua dulce que existe sobre la superficie terrestre. Para ilustrar sus tamaños, los volúmenes de las capas de hielo de la Antártida y de Groenlandia equivalen a una capa de 57 y 7 m respectivamente de agua colocada sobre la superficie de los océanos del mundo. Cuando el IPCC fijó su estimación superior de una elevación del nivel del mar de 59 cm, prevista para finales de este siglo, no tomó en consideración el aumento de las descargas en el océano procedentes de los glaciares de aflujo en movimiento de las capas de hielo. La incertidumbre acerca de su futuro constituye por ende una causa fundamental de las incertidumbres sobre las proyecciones de la elevación del nivel del mar. La capa de hielo de Groenlandia es la más susceptible al calentamiento debido a su proximidad al océano Atlántico y a otros continentes, aunque la Antártida, más aislada, también parece estar sufriendo ahora una pérdida neta de hielo que se podría estar acelerando (PNUMA, 2007) (Véase el indicador sobre la elevación del nivel del mar, sección 5.4.2).

El ritmo de la pérdida de hielo es importante, así como su magnitud, debido a que una elevación más acelerada del nivel del mar reduce el tiempo disponible para tomar medidas de adaptación apropiadas.

El agua de la fusión de Groenlandia contribuirá a reducir la salinidad del océano colindante. Una capa superior de agua dulce podría reducir la formación de aguas profundas densas, uno de los mecanismos impulsores de la circulación oceánica mundial.

Tendencias del pasado

La capa de hielo de Groenlandia es un glaciar continental inmenso con varias lenguas glaciares que se desprenden hacia el mar. Abarca aproximadamente el 80% de Groenlandia. El espesor medio del hielo es de 1.600 m y la cumbre más elevada alcanza los 3.200 m sobre el nivel del mar. Su volumen es de 3 millones de km³ aproximadamente.

Hasta la reciente mejora de la teledetección, era difícil medir si las capas de hielo polares estaban creciendo o se estaban reduciendo. La mayoría de las series cronológicas siguen siendo breves. Existe, no obstante, un consenso generalizado entre diferentes planteamientos de una aceleración en la pérdida de hielo de la capa de hielo de Groenlandia. A principios del decenio de los noventa, la situación era próxima al equilibrio, mientras que a finales de siglo se perdían alrededor de 100.000 millones de toneladas al año, una cifra que es probable que se hubiera vuelto a duplicar para 2005 (PNUMA, 2007). No obstante, sigue existiendo una gran discrepancia entre las distintas estimaciones sobre los índices de pérdida de hielo (figura 5.12).

El IPCC calculó que la contribución de la capa de hielo de Groenlandia a la elevación del nivel del mar durante el período 1993-2003 oscilaba en torno a 0,14 - 0,28 mm/año, sobre la base de una pérdida de hielo anual de entre 50.000 y 100.000 millones de toneladas en el mismo período (IPCC, 2007a). En un estudio que estimaba una pérdida de hielo de 224.000 millones de toneladas/año en 2005 se determinó una contribución a la elevación del nivel del mar de 0,57 mm/año (Rignot y Kanagaratnam, 2006), una de las estimaciones superiores de la figura 5.12 que ilustra a su vez los efectos que pueden tener los distintos índices de pérdida de hielo sobre el nivel del mar.

El hielo del interior de la capa de hielo de Groenlandia situado en cotas altas ha aumentado su grosor porque ha recibido más nieve, un promedio de 4 cm/año aproximadamente desde el año 2000 (PNUMA, 2007). Este aumento ha sido más que contrarrestado por la pérdida en las regiones situadas en cotas más bajas a causa de la fusión y el aumento del desprendimiento de los icebergs. Las temperaturas del aire durante el verano han aumentado considerablemente en la costa desde principios del decenio de los noventa, mientras que apenas se han observado cambios o enfriamiento en las cotas más altas del interior (Steffen, 2007, sin publicar).

La pérdida de hielo puede deberse en parte a la fusión de la superficie. En el extremo de la capa de hielo situado en cotas más bajas se produce todos los veranos una fusión de la superficie que causa a su vez una evaporación y una

escorrentía del agua procedente de la fusión del glaciar. Si es superior a la acumulación neta de nieve durante el invierno, el glaciar tiene un balance de masa negativo en la superficie. Las zonas donde se produce fusión se pueden medir por satélite y entre 1979 y 2007, la zona de fusión acumulativa incrementó un 50% aproximadamente (figura 5.13). La fusión ha alcanzado cotas más altas y la época de la fusión cada vez dura más tiempo. No obstante, también han aumentado la niviosidad y la fusión de la superficie. El resultado de la modelización de la tendencia resultante en el balance de masa en la superficie para el conjunto de la capa de hielo de Groenlandia entre 1958 y 2006 ha sido insignificamente negativo (Hanna *et al.*, 2007). Los datos de los últimos años hasta 2007 sugieren un fuerte incremento de la pérdida neta del balance de masa en la superficie (Steffen, 2007, sin publicar).

El otro mecanismo que subyace tras la pérdida de hielo desde el decenio de los noventa es el flujo acelerado de los glaciares de aflujo hacia el mar. Grandes cantidades de agua de la fusión forman ríos y estanques de fusión en la superficie del glaciar y penetran por las grietas hasta llegar al fondo. Estas aguas probablemente lubrican la zona de contacto entre el lecho rocoso y el hielo haciendo que los glaciares se muevan más rápido. Otra explicación consistiría en que las partes frontales del glaciar podrían verse afectadas por el aumento de las temperaturas del océano, con la consiguiente reducción de su efecto de contrafuerte. La topografía de los fiordos también repercute sobre los glaciares de aflujo ya que estos últimos actúan como si fuesen los «drenajes de una bañera» sobre el hielo interior: el hielo es trasladado a la zona de fusión y se incrementa el desprendimiento en el océano. La velocidad del glaciar que fluye a un ritmo más acelerado, el glaciar Jakobshavn isbræ, situado en la costa occidental, prácticamente se ha duplicado, hasta alcanzar los 14 km al año aproximadamente (PNUMA, 2007). No obstante, se está registrando una deceleración en algunos glaciares con respecto a las velocidades máximas medidas, posiblemente en torno a una nueva posición de equilibrio. La aceleración es más generalizada en la zona del sureste y ha ascendido hacia el norte, hasta unos 70°N. Está asociada a grandes retrocesos y al adelgazamiento de la capa de hielo. En las proximidades de los aflujos, la altura de la superficie del glaciar puede experimentar un hundimiento de decenas de metros.

Las pérdidas de hielo causadas por el flujo acelerado de los glaciares de aflujo (dinámica del hielo) han rebasado las pérdidas derivadas de los procesos de fusión (balance negativo de masa en la superficie) en varias ocasiones durante los últimos años más cálidos. Se ha calculado que en 2005 dos terceras partes de la pérdida de hielo se debieron a la dinámica del hielo (Rignot y Kanagaratnam, 2006).

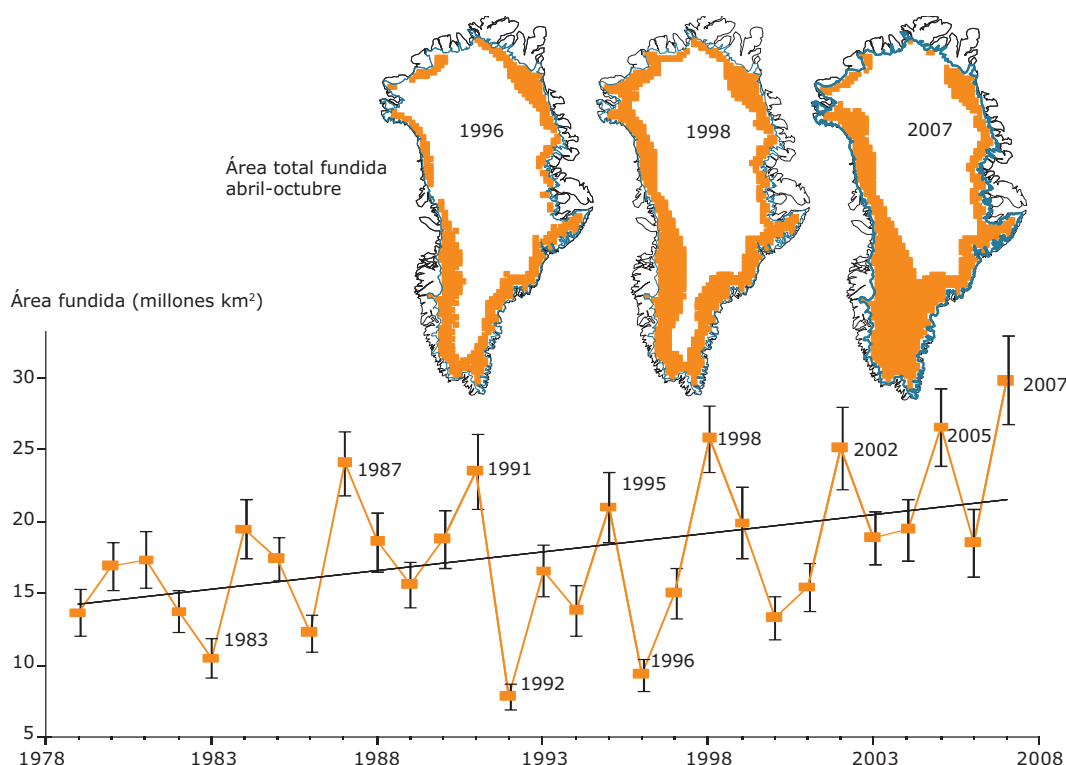
Proyecciones

En la actualidad no es posible predecir con seguridad el futuro desarrollo de la capa de hielo de Groenlandia. Los modelos glaciares representan en su mayoría la acumulación de nieve durante el invierno y la fusión en



El agua de la fusión forma ríos en las superficies de los glaciares

Fotografía: © John McConnell

Figura 5.13 Zona de la capa de hielo de Groenlandia en fase de fusión 1979-2007

Nota: La zona de la capa de hielo de Groenlandia donde existe al menos un día de fusión de la superficie durante el verano incrementó hasta alcanzar un nuevo récord en 2007. La fusión rebasó la cota de 2.500 m y probablemente provocó un nuevo récord en la pérdida de hielo en ese año.

Fuente: Actualizado de Steffen *et al.*, 2004; Witze, 2008.

verano (balance de masa en la superficie). La aceleración del flujo del hielo se observa desde hace relativamente poco tiempo. Ahora los científicos están tratando de comprender los procesos que impulsan este fenómeno, algo que, a su vez, debería favorecer el desarrollo de modelos de hielo mejores. Pero para que los modelos puedan predecir el futuro de una forma adecuada, deben validarse con datos procedentes de mediciones a largo plazo que describan procesos clave. Mientras la ciencia no avance en esta dirección, nuestra capacidad para predecir la sensibilidad de la capa de hielo de Groenlandia al calentamiento de la tierra seguirá limitada.

Un mayor aumento de la temperatura puede acelerar la pérdida de hielo debido a los mecanismos de retroalimentación positiva, como el adelgazamiento de la capa de hielo que expone zonas de mayor tamaño a la fusión. No es fácil determinar la potencia de estos mecanismos, la rapidez de reacción de la capa de hielo ante ellos ni si la pérdida de hielo será irreversible.

A lo largo de la historia de la tierra, las capas de hielo se han reducido en respuesta al calentamiento y han crecido en respuesta al enfriamiento. Perforaciones profundas realizadas en los núcleos de hielo revelan climas pasados y pueden ofrecer indicaciones del modo en que han cambiado. La era de Eemian fue un período interglaciar que comenzó hace 120.000 años cuando en Groenlandia las temperaturas eran aproximadamente

5°C más altas que en la actualidad. Pero la capa de hielo de Groenlandia no se fusionó completamente. El nivel del mar se elevó alrededor de 5 m por encima del nivel actual, contribuyendo a ello la fusión del hielo de Groenlandia entre 1 y 2 m (Dahl Jensen, com. pers.). Como el calentamiento de la tierra se amplifica en las proximidades de los polos, es posible que la temperatura de Groenlandia vuelva a aumentar en 5°C cuando la temperatura media mundial aumente aproximadamente en la mitad, algo que se incluye en el rango de las proyecciones del IPCC para el siglo actual.

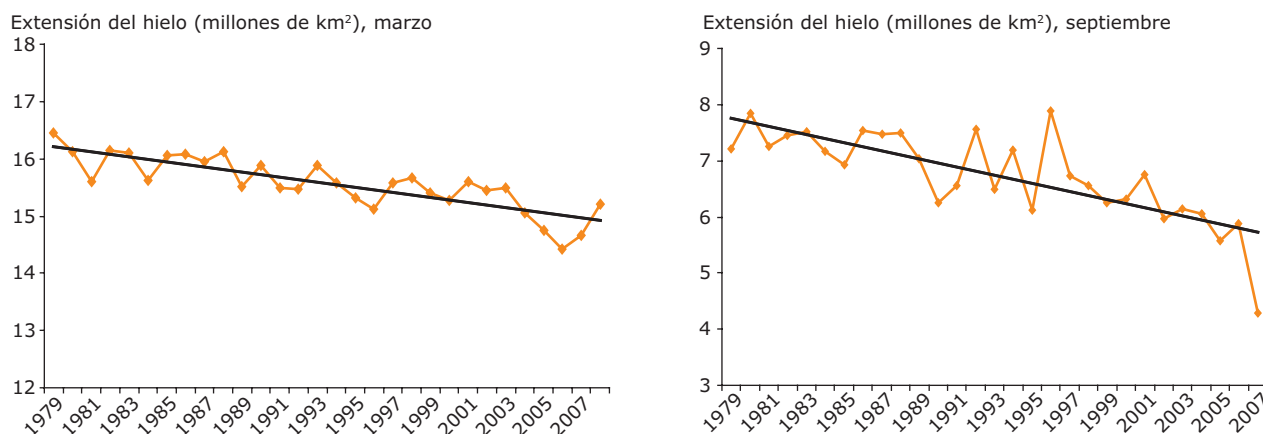
Las capas de hielo de Groenlandia y de la Antártida se han asociado en el pasado a respuestas climáticas lentas que se han prolongado durante miles de años, pero la aceleración del movimiento del hielo ha llevado a volver a plantearse la rapidez con la que responden al calentamiento. Los paleodatos evidencian la existencia de períodos de fusión acelerada de las grandes capas de hielo continentales tras la última edad del hielo, los cuales originaron una elevación media del nivel del mar de 1 cm/año e índices máximos de hasta 4 cm/año (PNUMA, 2007). La reducción parece ser un proceso más acelerado que el crecimiento, debido probablemente a que el flujo de hielo acelerado desempeña una importante función en el retroceso. Para evaluar en qué medida podemos esperar que aumente el flujo de agua de la fusión de la capa de hielo de Groenlandia es de vital importancia que comprendamos mejor estos procesos.

5.3.5 Hielo marino ártico

Mensajes clave

- La extensión del hielo marino del Ártico ha disminuido a un ritmo acelerado, especialmente durante el verano. El mínimo histórico de la cubierta de hielo, alcanzado en septiembre de 2007, apenas presentaba la mitad del tamaño de la extensión mínima normal del decenio de los cincuenta.
- Está previsto que el hielo estival siga reduciéndose y podría incluso desaparecer en el punto álgido de la época de fusión estival en los próximos decenios. Durante el invierno seguirá existiendo una cantidad sustancial de hielo.
- La reducción del hielo polar acelerará el calentamiento de la tierra y está previsto que afecte a la circulación oceánica y a las pautas meteorológicas. Las especies especializadas para la vida en el hielo están amenazadas.
- La disminución del hielo facilitará el acceso a los recursos del Ártico. La exploración de gas y petróleo, la navegación, el turismo y las pesquerías ofrecerán oportunidades económicas nuevas, pero también aumentarán las presiones y los riesgos para el medio ambiente del Ártico.

Figura 5.14 Extensión media del hielo marino ártico en los meses de marzo y septiembre del período 1979-2007



Nota: El hielo marino ártico alcanza su tamaño máximo anual en marzo y se funde hasta alcanzar su tamaño mínimo en septiembre. En la figura se muestran las extensiones medias de hielo para estos dos meses después de 1979. La tendencia lineal para el mes de marzo indica que el Ártico está perdiendo una media de 44.000 km² de hielo al año en invierno. El valor equivalente para el mes de septiembre y el verano es de 72.000 km².

Fuente: Centro Nacional de Datos sobre la Nieve y el Hielo, Boulder (http://nsidc.org/data/seaice_index/).

Relevancia

La reducción del hielo marino ártico tiene varias retroalimentaciones con respecto al sistema climático. El hielo cubierto de nieve refleja el 85% de la luz del sol (albedo alto) mientras que el mar abierto refleja sólo el 7% (albedo bajo). La disminución del hielo y la nieve acelerará por ende tanto la reducción del hielo marino como el calentamiento de la tierra. La reducción de la formación de hielo también reducirá la formación de aguas profundas densas que contribuyen a la circulación oceánica. Como la cubierta de hielo incide sobre la temperatura del aire y la circulación de masas de aire, se pueden esperar cambios en las pautas meteorológicas como las trayectorias de tormentas y la precipitación, incluso en latitudes medias (Serreze *et al.*, 2007). El calentamiento sobre el océano Ártico también puede penetrar en los continentes vecinos, aumentando la preocupación sobre el deshielo del permafrost con la

liberación de gases de efecto invernadero adicionales (Lawrence *et al.*, 2008).

El hielo marino es un ecosistema lleno de vida adaptada exclusivamente a estas condiciones, desde microorganismos que viven en canales y poros del hielo, hasta peces, focas, ballenas y osos polares, pasando por ricas comunidades de algas que habitan bajo el hielo. La diversidad de la vida en el hielo crece habitualmente con la edad de los témpanos de hielo. Conforme el hielo sea más joven y más reducido, la abundancia de las especies asociadas al hielo se verá reducida, algunas de ellas con peligro de extinción. Los pueblos indígenas del Ártico adaptados a la pesca y a la caza se enfrentarán a grandes cambios económicos, sociales y culturales.

La disminución del hielo estival favorecerá el acceso a los recursos del océano Ártico, aunque el hielo restante

Mapa 5.17 La extensión mínima de hielo marino de 2007**Extensión mínima del hielo marino para septiembre 2007**

- Hielo marino
- Mediana mensual de septiembre de la extensión de hielo marino 1979-2000

Nota: En septiembre de 2007, la extensión del hielo marino estival alcanzó un mínimo histórico, un 39% por debajo de la media climática en los dos primeros decenios de observación por satélite (línea roja). Durante ese verano, las condiciones meteorológicas se caracterizaron por cielos despejados. El constante soplo de vientos cálidos impulsó al hielo hacia la costa de Canadá-Groenlandia y hacia el exterior, hacia la zona nordeste del Atlántico, donde se fundió.

Fuente: Centro Nacional de Datos sobre la Nieve y el Hielo, Boulder (http://nsidc.org/news/press/2007_seaiceminimum/20070810_index.htm).

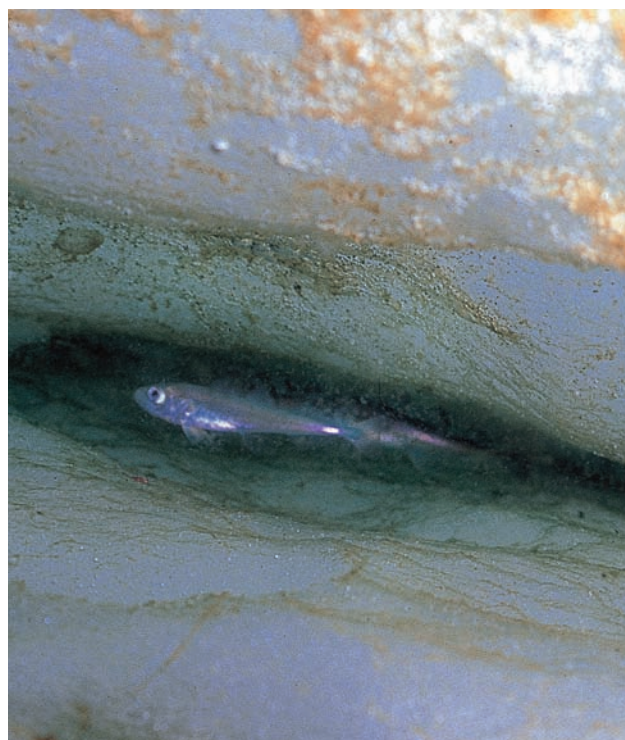
constituirá un gran desafío para las operaciones durante la mayor parte del año. Las expectativas de dar con reservas de petróleo y gas todavía sin descubrir ya están dirigiendo las miradas del sector petrolero y de los gobiernos hacia la zona norte. Las especies marinas se desplazarán hacia el norte conforme se caliente el mar y retrocedan los hielos, y las flotas pesqueras seguirán sus pasos. No obstante, es difícil determinar si la pesca será más abundante o no; las especies de peces reaccionan de formas muy diferentes a los cambios en el clima marino y no es fácil predecir si los ciclos de las proliferaciones masivas anuales de plancton seguirán coincidiendo con las fases de crecimiento de las larvas y alevines de peces. Aunque es probable que aumente el tráfico marítimo y el turismo, las masas de hielos a la deriva, las estaciones de navegación cortas y la falta de infraestructuras impedirán el desarrollo rápido del transporte marítimo transcontinental de mercancías. Es más probable que se desarrolle antes el tráfico

vinculado a la extracción de los recursos del Ártico en los márgenes de las rutas marinas del océano. Estas actividades ofrecen nuevas oportunidades económicas, aunque, al mismo tiempo, representan también nuevas presiones y riesgos para un océano que, hasta la fecha, ha estado cerrado a la mayoría de actividades económicas gracias al hielo. Los reglamentos internacionales que regulan estas actividades deberían mejorarse a fin de cubrir este aspecto.

El gran interés por acceder a los recursos del Ártico podría crear tensiones y problemas de seguridad. No obstante, ya se han trazado la mayor parte de las fronteras del océano Ártico, definiendo así con claridad a quién pertenecen los recursos y el derecho a gestionarlos. En las cuestiones remanentes y sin resolver acerca de la delimitación de las Zonas Económicas Exclusivas y la ampliación de las plataformas continentales, todos los Estados costeros del océano Ártico siguen los procedimientos del Convenio de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar.

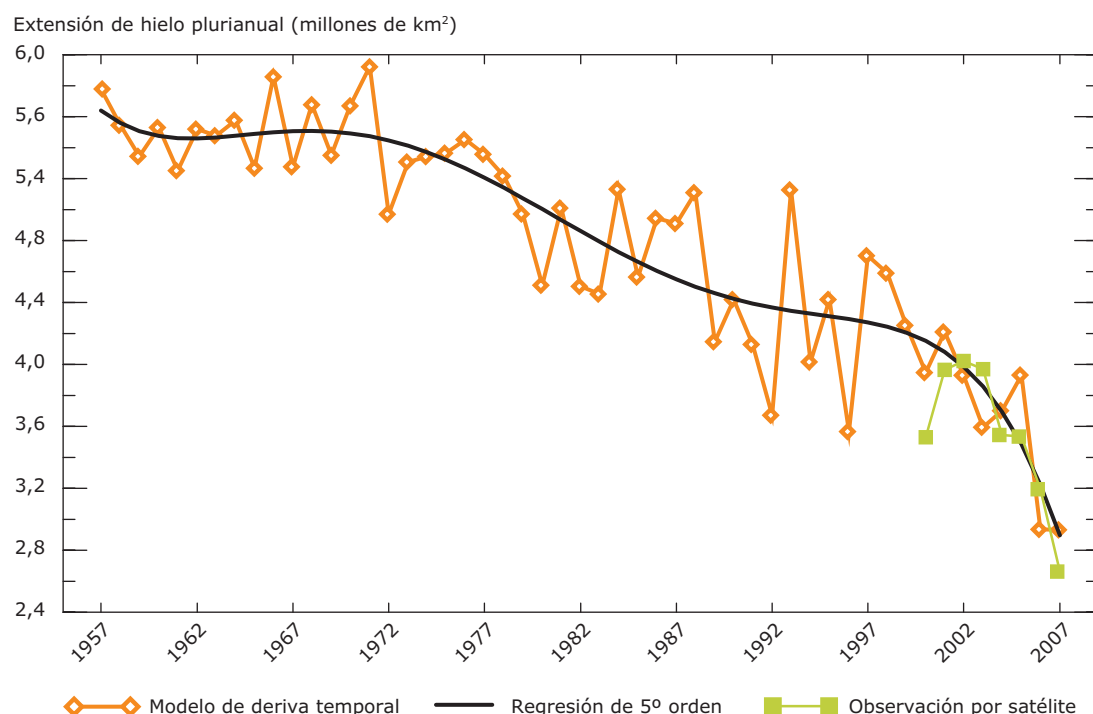
Tendencias del pasado

La extensión de la cubierta de hielo mínima al final de la época de fusión en septiembre de 2007 superó todos los récords observados hasta entonces. Si se toman en consideración las observaciones más antiguas de aviones y barcos, el manto de hielo marino podría haberse reducido a la mitad desde los años cincuenta (NSIDC, 2007; Meier, 2007). Desde 1979, cuando se



El bacalao polar es una especie fundamental del ecosistema del hielo marino; aquí con algas del hielo en la superficie

Fotografía: © Bjørn Gulliksen; www.UWPhoto.no

Figura 5.15 Zona de hielo marino ártico plurianual en el mes de marzo 1957-2007

Nota: La zona de hielo marino grueso y plurianual del océano Ártico está disminuyendo. Esta figura está basada en un conjunto de observaciones por satélite y mediante modelización.

Fuente: Nghiem *et al.*, 2007.

empezaron a obtener observaciones por satélite de mayor fiabilidad, el hielo estival se ha reducido un 10,2% por decenio (Comiso *et al.*, 2008; NSIDC, 2007). Esta acusada tendencia negativa se vio reforzada en el verano de 2008, cuando se registró el segundo mínimo histórico en términos de extensión. La reducción de la extensión máxima invernal es menor, con un descenso del 2,9% por decenio (figura 5.14) (Stroeve *et al.*, 2007). Las disminuciones, tanto estivales como invernales, se han acelerado (Comiso *et al.*, 2008).

El hielo marino ártico también es cada vez más delgado y cada vez más joven debido a que cada vez es menos el hielo que sobrevive al verano para convertirse en témpanos más gruesos y plurianuales. Su composición ha experimentado un cambio considerable encaminado hacia un hielo de menos años y hacia mayores superficies cubiertas por hielo del primer año (figura 5.15). El hielo del primer año es más débil y se fusiona más fácilmente en verano.

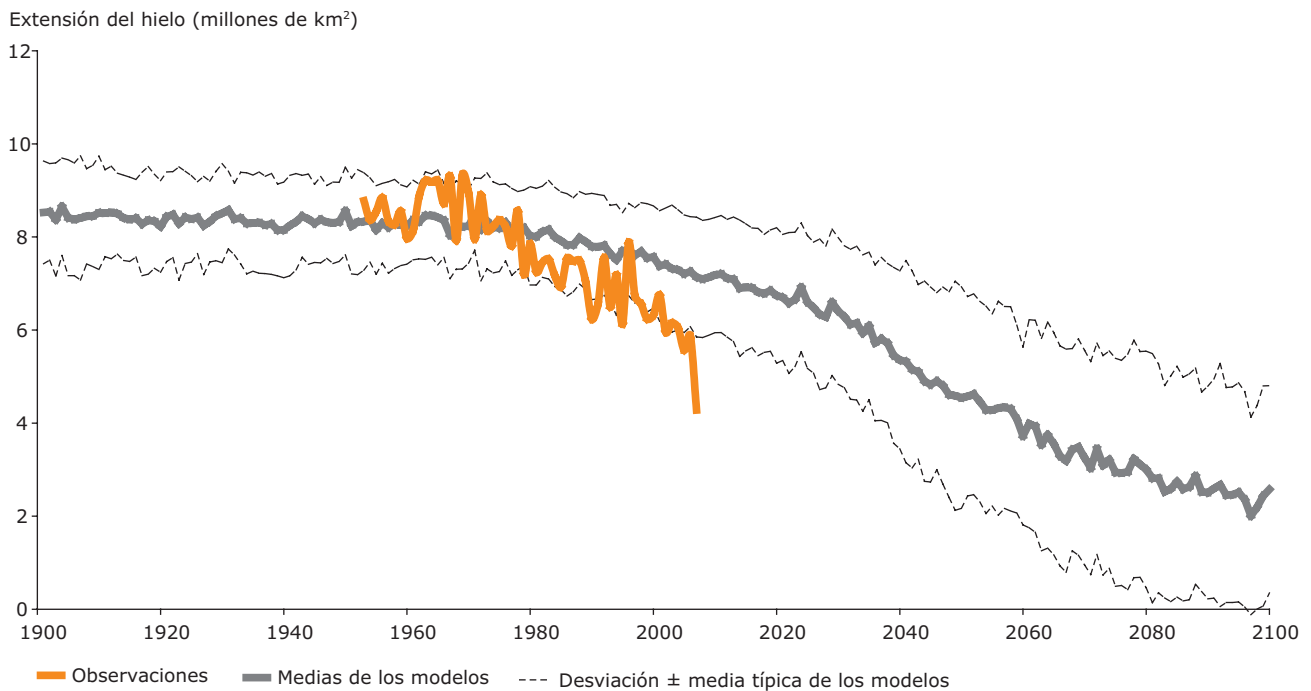
Las observaciones sobre el grosor son más dispersas y es difícil calcular las tendencias de toda la cubierta de hielo. Los datos procedentes de submarinos se han considerado los más representativos y han evidenciado un descenso del 40% de una media de 3,1 m durante el período 1956-1978 hasta 1,8 m en los años noventa (PNUMA, 2007). Los datos procedentes de submarinos británicos correspondientes al año 2007 muestran la

continuación del adelgazamiento (Wadham, com. pers.). Las observaciones alemanas realizadas en la zona próxima al Polo Norte y hacia el nordeste de Groenlandia indican que el espesor del hielo descendió un 44% entre 2001 y 2007 debido, principalmente, a una variación fundamental del régimen, pasando del hielo plurianual a hielo del primer año. No obstante, también se ha producido un adelgazamiento general del hielo (Nghiem *et al.*, 2007; Haas *et al.*, 2008). Estos resultados también contrastan notablemente con las observaciones realizadas entre la isla de Ellesmere y los 86° de latitud Norte, donde el grosor del hielo todavía era superior a 4 m en 2006 (Haas *et al.*, 2006).

El hielo marino ártico es muy sensible a los cambios producidos en las temperaturas oceánicas y del aire, así como en los vientos, las olas y las corrientes oceánicas (forzamiento termodinámico y dinámico). Existen indicios muy claros de variabilidad natural en los cambios observados, debidos, por ejemplo, a cambios periódicos en las pautas de circulación de la atmósfera polar. No obstante, cada vez parecen ser más los cambios atribuibles al aumento de los gases de efecto invernadero (Stroeve *et al.*, 2007).

Proyecciones

Es muy probable que el hielo estival siga reduciéndose en extensión y en grosor, dejando mayores áreas de

Figura 5.16 Extensión observada y prevista del hielo marino ártico en el mes de septiembre 1900-2100

Nota: El retroceso del hielo marino ha sido más rápido de lo previsto: extensión del hielo marino ártico durante el mes de septiembre basada en observaciones realizadas (línea naranja gruesa) junto con el valor medio (línea continua gris) de 13 modelos climáticos del cuarto informe de evaluación del IPCC y la varianza (línea negra discontinua) de las ejecuciones de los modelos.

Fuente: Actualizado de Stroeve *et al.*, 2007.

mar abierto durante un período más amplio. También es muy probable que persistan las condiciones que favorecen la congelación durante el invierno, de modo que el hielo marino invernal seguirá cubriendo grandes zonas.

La velocidad del cambio sigue siendo, no obstante, incierta. Varias evaluaciones internacionales realizadas hasta fechas recientes concluyeron que para finales de este siglo podrían registrarse veranos tardíos prácticamente sin hielo (ACIA, 2004; IPCC, 2007a; PNUMA, 2007). Pero la fusión real ha sido más rápida

que las tendencias medias simuladas por los modelos climáticos utilizados para dichas evaluaciones (figura 5.16). Nuevos estudios realizados con modelos sugieren que es posible que se registren veranos sin hielo en un futuro mucho menos lejano. (Winton, 2006; Holland *et al.*, 2006; Stroeve *et al.*, 2007). No es posible predecir con seguridad exactamente cuándo, debido tanto a los escasos conocimientos de los procesos afectados como a la gran variabilidad del sistema.

La mayor parte de los estudios destacan el hecho de que es muy probable que el hielo más delgado y débil se fragmente con mayor facilidad, de modo que en el mar abierto se producirá una mayor absorción del calor procedente del sol. Ello podría provocar una fusión abrupta y un elevado grado de susceptibilidad al estrés dinámico como los vientos fuertes cuando las condiciones meteorológicas son favorables, al igual que sucedió en el verano de 2007. Un aumento de la entrada de aguas templadas procedentes del Atlántico también podría constituir un importante mecanismo de debilitamiento del hielo marino. Estos fenómenos, a menos que vayan seguidos de varios años consecutivos de inviernos fríos, producirán una cubierta de hielo más delgada, más joven e incluso más susceptible de fundirse con mayor facilidad durante el verano siguiente y de ser más fácilmente trasladada fuera del Océano Polar.



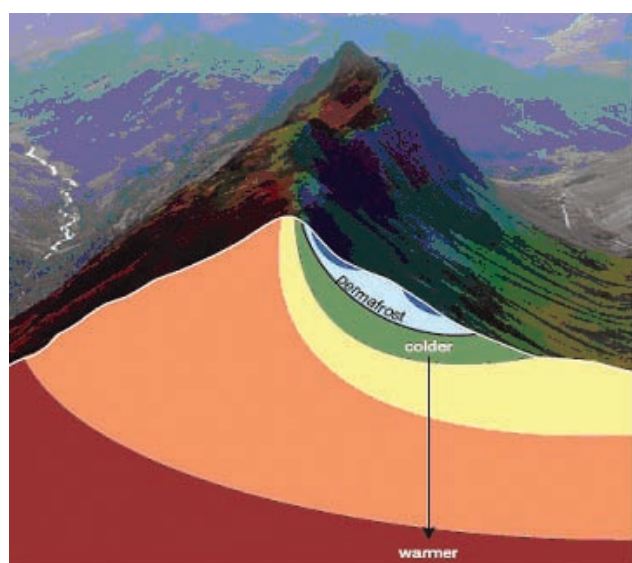
Fotografía: © John McConico

5.3.6 Permafrost montañoso

Mensajes clave

- Durante los últimos diez a veinte años se observó en Europa un calentamiento del permafrost montañoso de entre 0,5 y 1,0°C.
- Es previsible que el calentamiento atmosférico actual y previsto provoquen un deshielo generalizado del permafrost montañoso.
- Se espera que el calentamiento y la fusión del permafrost contribuyan al aumento de la desestabilización de las paredes de roca montañosas, la frecuencia del desprendimiento de rocas, la actividad de flujo de materiales rocosos y los problemas geotécnicos y de mantenimiento en las infraestructuras de alta montaña.

Figura 5.17 Distribución de la temperatura en una sierra con permafrost



Nota: Existe permafrost en la zona azul bordeada por una línea negra.

Fuente: Gruber y Haeberli, 2007. <http://maps.grida.no/go/graphic/mountain-permafrost-patterns-and-temperature-gradients>.

Relevancia

El permafrost es un terreno permanentemente congelado y consta de roca o suelo que se ha mantenido a una temperatura de 0°C o menos de manera constante durante más de dos años. El permafrost montañoso es el permafrost que predomina en Europa debido a que en este continente solamente existe permafrost ártico en las zonas más septentrionales de Escandinavia. El permafrost abunda en las cotas altas de las montañas situadas en latitudes medias, donde la temperatura media anual es inferior a los -3°C. Contiene cantidades variables de hielo y presenta formas distintas: en lechos rocosos pronunciados, en glaciares rocosos, en materiales rocosos depositados por los glaciares y en suelos con vegetación. Al no existir prácticamente vegetación ni aguas subterráneas circulantes en las zonas de permafrost montañoso, la temperatura en la materia rocosa más profunda viene determinada en gran medida por el histórico de la temperatura en

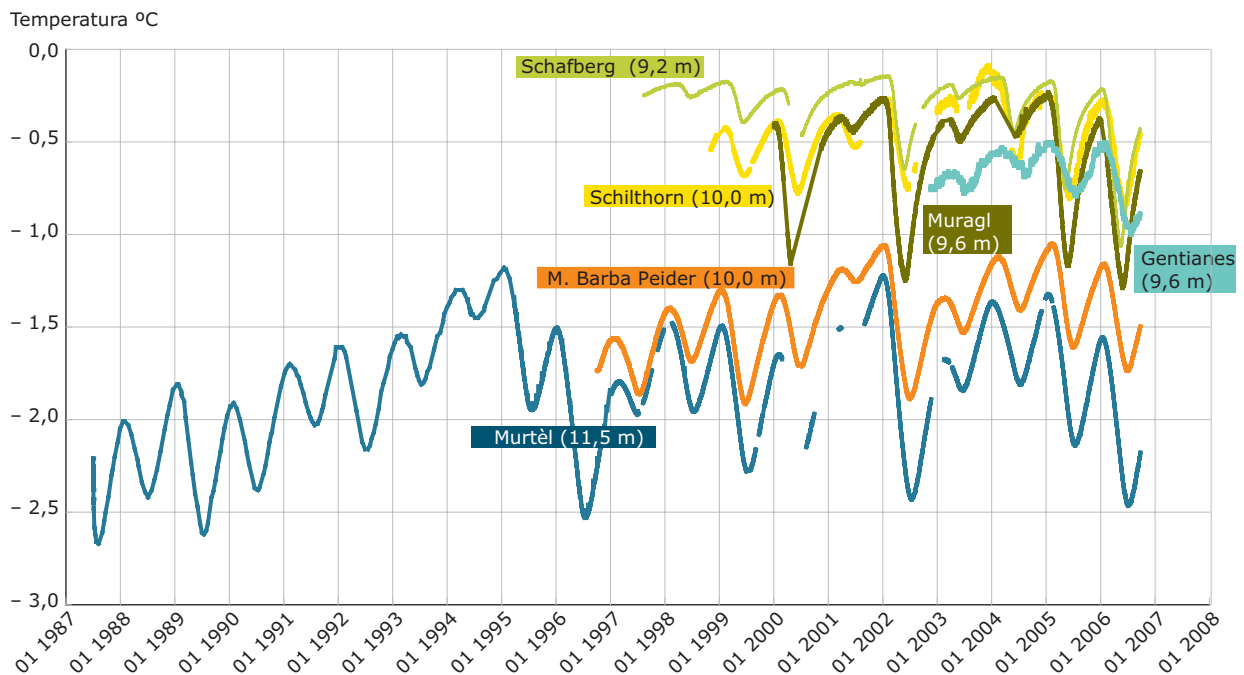
su superficie. El permafrost montañoso contiene por ende información valiosa acerca del cambio climático. No es fácil interpretar los perfiles de temperatura de las perforaciones alpinas en términos de tendencias pasadas debido a los efectos de la complejidad de la topografía (figura 5.17) y a la existencia de una cubierta nivosa aislante (Gruber *et al.*, 2004a). No obstante, la vigilancia exhaustiva del cambio de temperatura en cotas más profundas proporciona datos valiosos acerca de la respuesta térmica del permafrost al cambio climático.

El permafrost influye en la evolución de los paisajes montañosos y afecta a la seguridad y a las infraestructuras humanas. El calentamiento del permafrost o su deshielo afectan al potencial de que se produzcan peligros naturales, tales como desprendimientos de rocas (por ejemplo en el Matterhorn en el verano de 2003) y flujos de materiales rocosos (Noetzli *et al.*, 2003; Gruber y Haeberli, 2007). En el último decenio se han registrado en los Alpes al menos cuatro grandes fenómenos relacionados con volúmenes de roca de más de 1 millón de m³. Sus efectos sobre la infraestructura han motivado el desarrollo de soluciones técnicas para mejorar el ciclo vital y la seguridad del diseño (Philips *et al.*, 2007).

Tendencias del pasado

Los datos correspondientes a una sección transversal norte-sur de perforaciones, con una profundidad de 100 m como mínimo, que se extiende desde Svalbard hasta los Alpes (proyecto europeo PACE) indican un calentamiento regional del permafrost a largo plazo de entre 0,5 y 1,0°C durante el último decenio (Harris *et al.*, 2003). La vigilancia realizada en Escandinavia y Svalbard durante un período de 5 a 7 años evidencia la existencia de calentamiento en una profundidad de hasta 60 m y unos índices de calentamiento actuales en la superficie del permafrost de entre 0,04 y 0,07°C/año (Isaksen *et al.*, 2007). En Suiza se observó una tendencia al calentamiento y un aumento de las profundidades de la capa activa en 2003, pero los resultados diferían enormemente entre las ubicaciones de las perforaciones debido a las variaciones observadas en la cubierta nivosa y en las propiedades del terreno (PERMOS, 2007). En la perforación del Murtel-Corvatsch (un glaciar rocoso) situado en los Alpes suizos, el único registro de

Figura 5.18 Temperatura medida en distintas perforaciones en el permafrost montañoso en Suiza 1987-2007



Nota: Temperaturas medidas a una profundidad aproximada de 10 m en glaciares rocosos y paredes de roca congeladas.

Fuente: PERMOS, 2007.

datos a largo plazo (veinte años), las temperaturas del permafrost en 2001, 2003 y 2004 sólo eran ligeramente inferiores a -1°C (figura 5.18) y salvo en 1993 y 1994, fueron las más altas desde que se iniciaron las mediciones en 1987 (Vonder Mühll *et al.*, 2007). Este tipo de datos medidos en glaciares rocosos son difíciles de interpretar debido a que la termodinámica de la subsuperficie en los materiales rocosos congelados y ricos en hielo es bastante compleja. Se espera obtener señales más claras y complementarias sobre el deshielo del permafrost de las perforaciones realizadas directamente en el lecho rocoso (por ejemplo Schilthorn, M. Barba Peider; figura 5.18). No obstante, los programas

de vigilancia correspondientes, como PACE y PARMOS, no se iniciaron hasta hace menos de diez años.

Proyecciones

Todavía no se dispone de proyecciones específicas del comportamiento del permafrost montañoso, pero es previsible que éste siga experimentando cambios en el futuro más próximo y que la mayoría de los cuerpos de permafrost se vean afectados por el calentamiento o la fusión. De acuerdo con unos cálculos con modelos realizados recientemente y basados en el modelo climático regional REMO de conformidad con los escenarios A1B, A2 y B1 del IE-EE del IPCC, se prevé un calentamiento de hasta 4°C para 2100 en la región alpina (Jacob *et al.*, 2007). Un mayor aumento de la temperatura y de la fusión del permafrost podría desestabilizar, cada vez más, las paredes montañosas e incrementar la frecuencia de los desprendimientos de roca, con los correspondientes problemas para la infraestructura y las comunidades montañosas (Gruber *et al.*, 2004a). El calentamiento y el deshielo del permafrost del lecho rocoso pueden ser rápidos en ocasiones y pueden producir fracturas en las juntas llenas de hielo incluso en temperaturas inferiores a 0°C (Davies *et al.*, 2001). El flujo de agua a través de estructuras lineales y la advección del calor a través de los sistemas de juntas acelerarán aún más la desestabilización (Gruber y Haeberli, 2007).



Glaciar rocoso Murtel-Corvatsch

Fotografía: © M. Phillips, SLF

5.4 Biodiversidad marina y ecosistemas

5.4.1 Introducción

Los océanos juegan un papel esencial en la regulación climática, ya que transportan calor hacia los polos y transfieren energía desde la atmósfera hacia las profundidades marinas. La corriente del Golfo y sus ramificaciones, la corriente y la deriva del Atlántico Norte, influyen en las pautas del clima europeo y en la trayectoria de las tormentas. El calor transportado hacia el norte por la circulación oceánica afecta a los regímenes de precipitación y viento de toda Europa. Los océanos se ven afectados a su vez por las condiciones climáticas, y las variaciones resultantes de las condiciones físicas afectan a los ecosistemas marinos.

El presente capítulo aborda los cambios producidos en el nivel del mar y en la temperatura de la superficie marina como consecuencia del cambio climático y ofrece ejemplos de las consecuencias químicas (acidificación del océano) y biológicas (cambios en la fisiología, distribución, fenología y composición genética) de esos cambios y los consiguientes efectos sobre la vida en los mares europeos.

Se observan efectos del cambio climático en todos los mares europeos (por ejemplo, Halpern *et al.*, 2008), si bien la documentación al respecto varía en el tiempo y en el espacio. Todos los ejemplos seleccionados en este informe para demostrar los cambios producidos en la red alimentaria marina han sido bien aceptados por la comunidad científica como ejemplos de impacto climático en el entorno marino. En general, los cambios relacionados con el medio físico marino están mejor documentados que los relativos a efectos biológicos o químicos, dado que se han hecho observaciones durante un periodo más largo. Por ejemplo, las observaciones sistemáticas sobre el nivel del mar y la temperatura en la superficie marina se iniciaron hacia 1880 y actualmente se han complementado con las realizadas desde el espacio, con una gran resolución temporal y cobertura geográfica. Los registros más antiguos disponibles sobre plancton proceden del Registrador Continuo de Plancton (RCP) un muestreador remolcado por muy diversos barcos mercantes a lo largo de unas líneas de navegación marítima prefijadas. La toma de muestras con el RCP se inició en el mar del Norte en la década de los cincuenta, habiéndose constituido una red que cubre todo el Atlántico Norte. No existe ninguna otra serie cronológica sobre plancton equiparable en duración y cobertura geográfica para los mares regionales europeos.

El principal efecto físico del cambio climático sobre los mares regionales europeos es el aumento de la temperatura de la superficie marina. A causa de diferentes restricciones geográficas, se prevé, no obstante, que las consecuencias del cambio climático sobre las condiciones físicas de los mares diferirán en cada uno y, por tanto, también se espera que los impactos biológicos difieran en cada región, como reflejan los siguientes ejemplos:

Atlántico nororiental: las proyecciones indican que el calentamiento se extenderá a través de la columna de agua durante el siglo XXI (Meehl *et al.*, 2007). Los cambios experimentados en la temperatura de la superficie marina han provocado ya una prolongación del período vegetativo marino y un desplazamiento del zooplankton marino hacia el norte. La distribución de algunas especies de peces se está alterando en dirección norte en respuesta al aumento de las temperaturas.

Mar Báltico: los modelos climáticos pronostican un aumento medio de entre 2 y 4° C en la temperatura de la superficie marina durante el siglo XXI, un aumento de la escorrentía y un descenso de la frecuencia de los flujos del Atlántico, con el consiguiente descenso de la salinidad del mar. En consecuencia se espera que la extensión del hielo marino descienda entre 50 - 80% durante el mismo período (Meier *et al.*, 2006a) y que la estratificación sea más intensa, aumentando la probabilidad de hipoxia (deficiencia de oxígeno) que provoque la muerte de una gran parte de la vida marina de la región. Se espera que los cambios en la estratificación afecten a pesquerías regionales de bacalao, importantes desde el punto de vista comercial, ya que la estratificación es un parámetro importante para el éxito reproductivo de este pez en el mar del Norte.

Mar Mediterráneo: se prevé un aumento de la temperatura y un descenso de la escorrentía. A diferencia del mar Báltico, no se espera que la combinación de estos dos efectos altere en gran medida la estratificación, en gran parte a causa de los efectos compensatorios del aumento de la temperatura y de la salinidad sobre la densidad del agua marina. La invasión y la supervivencia de especies exóticas en el Mediterráneo guarda relación con el aumento general de la temperatura de la superficie del mar, que provocaría una sustitución de la fauna local por especies nuevas. Este tipo de cambios no afectan sólo a las comunidades biológicas locales sino también a las actividades de la flota pesquera internacional cuando se ven afectadas las especies comerciales (Documento de posición del Comité Marino, 2007).

Recuadro 5.5 Acidificación de los océanos

Además de aumentar la temperatura atmosférica, los gases de efecto invernadero (concretamente el CO_2) tienen una repercusión más directa sobre los sistemas marinos. El océano del planeta es el medio principal de almacenamiento de dióxido de carbono y la cantidad acumulada en el océano depende de su concentración en la atmósfera. El CO_2 es soluble en el océano, donde reacciona con el agua para formar ácido carbónico. Éste se disocia en iones de hidrógeno (H^+) y de bicarbonato (HCO_3^-) y, en menor medida, iones de carbonato (CO_3^{2-}). Cuanto mayor sea la concentración de CO_2 en la atmósfera mayor podrá ser la cantidad de CO_2 que se disuelva en el océano, aumentando así la concentración de iones H^+ . Esto propicia un descenso del pH del agua marina, volviéndose el océano más ácido (menos alcalino). El pH del océano ya ha descendido 0,1 unidades desde la revolución industrial. Las simulaciones para el próximo siglo pronostican una reducción ulterior de entre 0,3 y 0,5 unidades, en función del escenario del IPCC adoptado para el cálculo (Orr *et al.*, 2005; Caldeira y Wickett, 2005). El aumento de la concentración de CO_2 disuelto y la consiguiente variación del pH reducirá la posibilidad de formación de sustancias carbonatadas como materiales que forman las estructuras anatómicas y de apoyo de muchos de los principales grupos de organismos marinos. El descenso del pH del océano se considera especialmente grave porque ha venido siendo relativamente estable durante los últimos 300 millones de

años (Caldeira y Wickett, 2003), tardará mucho tiempo en cambiar esta tendencia y podría alterar radicalmente la red trófica marina con consecuencias impredecibles para los niveles tróficos superiores.

Implicaciones para los mares europeos

Los efectos más notables en los mares europeos se esperan en el Ártico, donde un análisis de las consecuencias de la duplicación de la concentración atmosférica de CO_2 sugiere la posibilidad de una subsaturación total de aragonito para 2100. Esto, según se ha demostrado experimentalmente, perjudica la formación de las conchas de algunos moluscos, como los pequeños pterópodos del zooplancton, claves en la red alimentaria marina del Ártico y del Antártico. Para el período 2150–2200 se espera una subsaturación de calcita (Orr *et al.*, 2005), que explicará que otros organismos marinos fundamentales, como los cocolitoforales (diatomeas), los equidermos (erizo de mar) y los corales de agua fría, que habitan en la margen noroccidental del continente europeo, encuentren dificultades para constituir y mantener su estructura externa a base de carbonatos (Orr *et al.*, 2005). Estos cambios pueden alterar la red alimentaria y tener serios efectos en cadena en los ecosistemas marinos europeos (Pearson *et al.*, 1999).

Tabla 5.5 Valores medios de pH en la superficie oceánica

Tiempo	pH	Cambio en pH	Fuente
Preindustrial	8,2	0	Modelo (Houghton <i>et al.</i> , 1995)
Actualmente (1994)	8,1	-0,1	Modelo (año de referencia GLODAP, Key <i>et al.</i> , 2004)
2050	8,0	-0,2	Modelo (Orr <i>et al.</i> , 2005)
2100 (basado en el escenario IS92a del IPCC, escenarios IE-EE)	de 7,7 a 7,9	de -0,3 a -0,5	Modelos (Orr <i>et al.</i> , 2005; Caldeira y Wickett, 2005)

Fuente: Houghton *et al.*, 1995; Key *et al.*, 2004; Orr *et al.*, 2005; y Caldeira y Wickett, 2005.

5.4.2 Elevación del nivel del mar

Mensajes clave

- Durante el siglo XX el nivel medio del mar ha experimentado una elevación aproximada de 0,17 m (1,7 mm/año) a escala mundial. En Europa, los índices de elevación del nivel del mar (ENM) oscilaron entre -0,3 y 2,8 mm/año. Resultados recientes obtenidos mediante satélites y mareógrafos indican un mayor índice medio mundial de ENM en los últimos quince años de aproximadamente 3,1 mm/año.
- Las proyecciones del IPCC para finales del siglo XXI sugieren una ENM adicional de entre 0,18 y 0,59 m por encima del nivel medio del período 1980-2000. Las proyecciones más recientes,

basadas en las últimas observaciones, indican una ENM futura que podría rebasar el límite máximo del IPCC.

- La ENM puede causar inundaciones, erosión costera y pérdida de regiones costeras llanas situadas en cotas bajas. También aumenta la probabilidad de marejadas, refuerza la penetración de agua salada en tierra y afecta a los ecosistemas litorales y humedales. En 2080 la población residente en zonas costeras de Europa y que sufriría los efectos de las inundaciones costeras podría aumentar en 1,6 millones de personas.

Mapa 5.18 Cambio del nivel del mar de diferentes estaciones de mareógrafos de Europa 1896-2004



Nota: Datos (mm/año) corregidos con respecto al movimiento de tierras posglaciar y a la variación del campo gravitatorio.

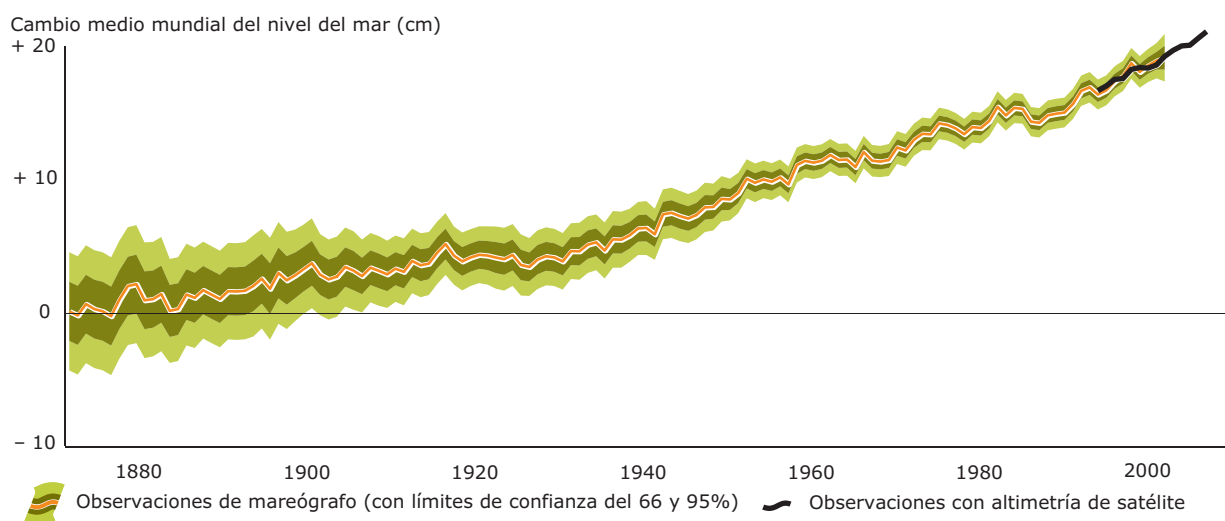
Fuente: Novotny y Groh, 2007.

Relevancia

La elevación del nivel del mar (ENM) es resultado de la dilatación térmica de los océanos (el aumento de volumen relacionado con la elevación de la temperatura del agua de los océanos) y del aumento de la afluencia de agua procedente de la fusión de glaciares y masas de hielo (concretamente las masas de hielo de Groenlandia y del Antártico occidental). Constituye por tanto un importante indicador del cambio climático, con gran relevancia en Europa por las inundaciones, la erosión costera y la pérdida de terrenos costeros llanos. Los niveles del mar cada vez más elevados aumentan la probabilidad de marejadas, refuerzan la intrusión marina en la tierra y afectan a ecosistemas litorales y humedales. Las zonas costeras europeas forman parte a menudo de importantes ecosistemas naturales, sectores económicos productivos y grandes centros urbanos. El mayor riesgo de inundaciones agrava la amenaza de daños personales y materiales, así como de deterioro de diques marinos e infraestructuras, y podría causar una pérdida creciente de funciones turísticas, de ocio y transporte. (Nicholls y Tol, 2006; Nicholls *et al.*, 2007; Devoy, 2008). Las zonas costeras de cotas bajas con elevada densidad de población y escasa carrera de marea son las más vulnerables a la ENM (Kundzewicz, 2001). De este modo, la inundación costera relacionada con la ENM podría afectar a una población muy extensa (Arnell, 2004; Nicholls, 2004) y, dada la lenta reacción del clima, la mitigación del cambio climático no reducirá en gran medida estos riesgos durante las próximas décadas, si bien existen diversas opciones de adaptación.

Tendencias anteriores

Los datos de mareógrafos, por ejemplo los del Servicio Permanente para el Nivel Medio del Mar (*Permanent Service for Mean Sea Level*, PSMSL), indican que el nivel medio del mar a largo plazo en las costas europeas

Figura 5.19 Cambios en el nivel del mar mundial 1870-2006

Fuentes: Church y White, 2006 (<http://maps.grida.no/go/graphic/trends-in-sea-level-1870-2006>).

varió, dependiendo de qué región, entre $-0,3$ y $2,8$ mm/año durante el siglo XX (mapa 5.18). Durante este período, el nivel del mar se elevó en todo el mundo a razón de $1,7$ mm/año (Church y White, 2006). Series de datos obtenidos recientemente por satélite indican una tendencia mundial de elevación acelerada de $3,1$ mm/año aproximadamente (figura 5.19) durante los últimos 15 años. La tendencia está prácticamente avalada por los datos obtenidos mediante mareógrafos durante el mismo período (Nerem *et al.*, 2006; Church y White, 2006; Rahmstorf *et al.*, 2007). Es muy factible que la tendencia observada en esta elevación durante el último siglo pueda atribuirse principalmente al mayor volumen de agua del océano a consecuencia del aumento de la temperatura, si bien es cierto que la afluencia de agua procedente de la fusión de glaciares y masas de hielo cada vez desempeña una función más importante (tabla 5.3). Informes recientemente publicados subrayan la contribución relativamente moderada, aunque cada vez considerablemente mayor, de las masas de hielo, por ejemplo, la de Groenlandia (Cazenave, 2006; Chen *et al.*, 2006; Rignot y Kangaratnam, 2006), véase la sección 5.3.4.

Las observaciones mediante satélite señalan una gran variabilidad espacial de las tendencias de la ENM en los mares europeos (mapa 5.19; tabla 5.2). Por ejemplo, en el Mediterráneo y mar de Levante se han observado tendencias positivas, mientras que se observan tendencias negativas en la zona septentrional del mar Jónico. Estas variaciones locales podrían deberse a la Oscilación del Atlántico Norte (OAN), a la variabilidad interanual de los vientos, cambios en las pautas de circulación oceánica mundial o a determinadas estructuras locales de la circulación (por ejemplo, los 'giros') (Demirov y Pinardi, 2002).

Proyecciones

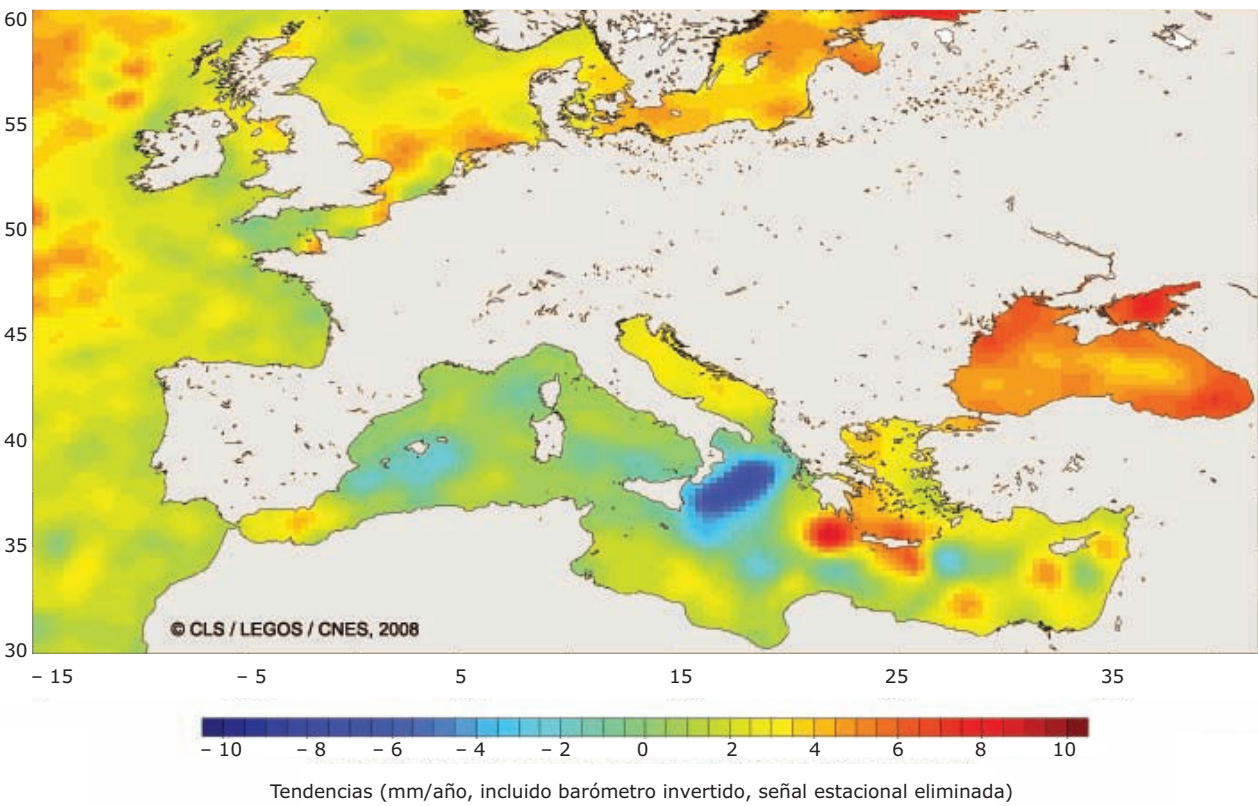
De acuerdo con los escenarios del IE-EE se prevé una elevación del nivel del mar para el final de este siglo (2090-2099) de entre $0,18$ y $0,59$ m por encima del nivel actual (1980-1999), con un índice máximo de elevación tres veces superior al registrado durante la década anterior (figura 5.20). La dilatación térmica es el componente más importante, contribuyendo entre 70-75% a la estimación central de estas proyecciones para todos los escenarios. Se prevé que también contribuyan

Tabla 5.2 Contribución de distintos procesos a la elevación mundial del nivel del mar (1993-2006)

Proceso	Contribución a la elevación mundial del mar (mm/año)
Expansión termal del océano	$1,6 \pm 0,5$
Fusión de glaciares y casquetes glaciares	$0,8 \pm 0,2$
Fusión de la capa de hielo de Groenlandia	$0,2 \pm 0,1$
Fusión de la capa de hielo del Antártico oeste	$0,2 \pm 0,4$
Sin contabilizar	$0,3$
Total global incremento nivel del mar	$3,1 \pm 0,7$

Fuente: IPCC, 2007a.

Mapa 5.19 Cambios en el nivel del mar en Europa octubre 1992 - mayo 2007



Nota: Mapa basado en datos obtenidos por altimetría de satélite.

Fuente: Guinehut y Larnicol, 2008.

a la elevación del nivel del mar los glaciares, los casquetes de hielo y la capa de hielo de Groenlandia (IPCC, 2007a).

Se prevé que la elevación del mar durante el siglo XXI presente una variabilidad geográfica sustancial (IPCC, 2007a). En Europa, las influencias regionales en el océano Ártico y en la zona septentrional del Atlántico Norte podrían dar lugar a una ENM superior hasta un 50% a estas estimaciones mundiales (Woodworth *et al.*, 2005). La influencia de la OAN sobre los niveles del mar durante el invierno añade una incertidumbre de 0,1 - 0,2 m a estas estimaciones (Hulme *et al.*, 2002; Tsimplis *et al.*, 2004). Una ralentización de la Circulación de Renuevo Meridional (CRM) del Atlántico, también

conocida como la ‘gran cinta transportadora’ del Atlántico Norte, originaría una mayor elevación del nivel relativo del mar en las costas europeas (IPCC, 2007b).

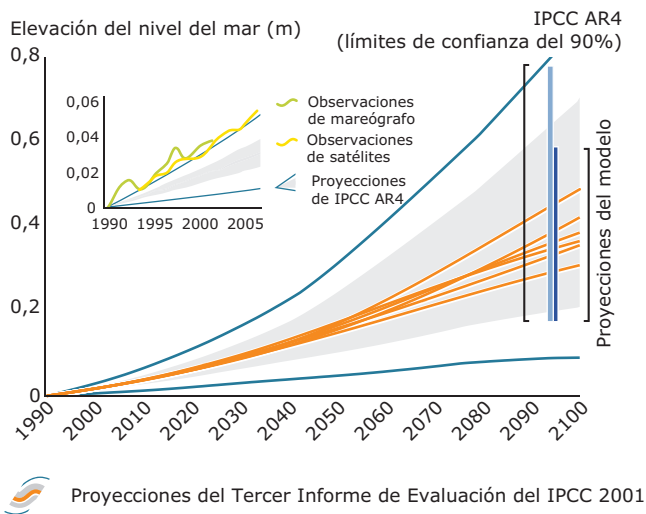
Las proyecciones de la ENM para las costas del Báltico y del Ártico, basadas en los escenarios del IE-EE, indican un aumento del riesgo de inundación y erosión costera a partir de 2005, siempre inferior al riesgo estimado en el mar del Norte y el Mediterráneo (Johansson *et al.*, Meier *et al.*, 2004, 2006b; Nicholls, 2004). El escenario A1F1, que asume una emisión muy elevada de gases de efecto invernadero procedentes de combustibles fósiles, daría lugar a un mayor efecto de la ENM en la zona septentrional del Mediterráneo,

Tabla 5.3 Elevación media del nivel del mar en algunos mares europeos (observaciones por satélite) octubre 1992 - mayo 2007

Mares europeos	Elevación del nivel del mar (mm/año)
Atlántico Norte (de 50°N a 70°N)	3,4
Atlántico Norte central (de 30°N a 50°N)	1,15
Mar Mediterráneo	1,5
Mar Negro	7,5

Fuente: Guinehut y Larnicol, 2008.

Figura 5.20 Elevación media mundial del nivel del mar prevista 1990-2100



Nota: Se presentan 6 escenarios del IE-EE. El gráfico muestra las proyecciones de los modelos, incluidos los procesos dinámicos de la capa de hielo.

Fuente: PNUMA, 2007; IPCC, 2001.

así como en Europa septentrional y occidental. Si bien era muy improbable que la población residente en estas zonas costeras sufriera inundaciones en 1990, las inundaciones costeras podrían afectar hasta a 1,6 millones de personas cada año para 2080 (Nicholls, 2004).

Para reducir estos riesgos existen varias medidas de adaptación disponibles, pero la adaptación tiene unos límites: a causa de la inercia térmica de los océanos, la elevación del nivel del mar no se habrá detenido para 2100 aún en el supuesto de que se estabilizaran las concentraciones de gases de efecto invernadero. Durante siglos y milenios, la fusión de las masas de hielo más importantes del mundo situadas en Groenlandia y en la meseta helada del Antártico Occidental – que presentan un potencial de ENM de aproximadamente 7 y 5-6 m respectivamente – podrían provocar una gran ENM si se fundieran completamente (IPCC, 2007a).



Fotografía: © Pavel Šťastný

Recuadro 5.6 Elevación del nivel del mar a largo plazo: percepciones desde el 4º informe de evaluación del IPCC

La elevación del nivel del mar observada desde 1990 se aproxima a la línea del «límite superior» del rango pronosticado en los 3º y 4º informes de evaluación del IPCC (figura 5.20) (Rahmstorf *et al.*, 2007). Esto indica que se subestimaron uno o varios de los factores impulsores de la ENM (PNUMA, 2007). Como ha señalado el IPCC, un aumento de la aceleración del flujo del hielo similar a la observada recientemente en algunos glaciares de aflujo de Groenlandia y en corrientes de hielo del Antártico occidental podría aumentar la contribución de las masas de hielo a la ENM (IPCC, 2007). Dejando un margen reservado a estas incertidumbres sobre el hielo, en el 4º informe de evaluación del IPCC se agregaron 10-20 cm al límite superior de la ENM prevista, aunque reconociéndose que los conocimientos de estos efectos eran muy limitados para evaluar su probabilidad o dar una estimación óptima (IPCC, 2007a).

En un documento publicado recientemente, Rahmstorf calculaba una posible ENM mundial de 0,5 a 1,4 m por encima del nivel de 1990 para 2100, sobre la base de un planteamiento semi-empírico (Rahmstorf, 2007). Katsman, valiéndose de un método distinto, pronosticó un rango de elevación de la ENM de hasta 0,8 m en la zona nororiental del océano Atlántico

durante el mismo período (Katsman *et al.*, 2007). Esta diferencia refleja ya una de las incertidumbres. Si bien existen conocimientos consolidados, y por tanto predecibles, acerca de las importantes contribuciones de la dilatación térmica del agua, y de la fusión de los glaciares y de los casquetes de hielo, en cierta medida, la complejidad y los conocimientos insuficientes sobre la dinámica interna de las capas de hielo hace que resulte extremadamente difícil prever con precisión un cambio en el nivel del mar en el momento actual. Junto a la incertidumbre sobre el comportamiento de las masas de hielo más importantes del planeta, la dinámica de los océanos, es decir, una mayor elevación del nivel relativo del mar en el contexto de una lenta Circulación de Renuevo Meridional (CRM) y los cambios en el campo gravitatorio inducidos por la fusión del hielo (por ejemplo, la capa de hielo de Groenlandia), también podría tener efectos destacables, en particular sobre la ENM regional (Katsman *et al.* 2007).

Debido a la complejidad del problema y a la posible yuxtaposición de los procesos naturales y los inducidos por el cambio climático antropogénico, que podrían en ambos casos contribuir a la ENM, las proyecciones a largo plazo siguen teniendo gran incertidumbre.

5.4.3 Temperatura de la superficie del mar

Mensajes clave

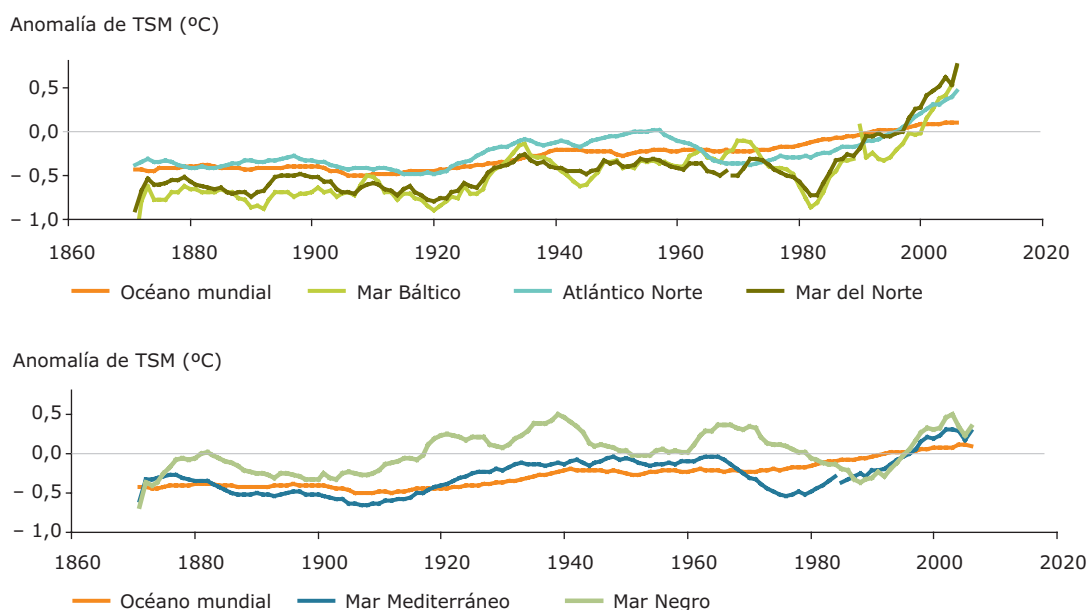
- La temperatura de la superficie del mar (TSM) en Europa está aumentando a un ritmo más acelerado que en los océanos mundiales. El ritmo de este aumento es mayor en los mares de Europa septentrional que en el mar Mediterráneo.
- Durante los últimos 25 años, el ritmo de aumento de la temperatura de la superficie del mar en todos los mares europeos ha sido unas 10 veces más acelerado que el ritmo medio registrado hace más de cien años.
- El ritmo de aumento observado en los últimos 25 años es el más elevado que se ha medido durante cualquier período de los 25 años anteriores.

Tabla 5.4 Resumen de los cambios de temperatura de la superficie del mar en el océano mundial y en los cuatro mares regionales europeos

Mar	Tasa anual°C/año entre 1871–2006 (últimos 136 años)	Tasa anual°C/año entre 1982–2006 (últimos 25 años)
Océano mundial	0,004	0,01
Océano Atlántico Norte	0,002	0,03
Mar Báltico	0,006	0,06
Mar del Norte	0,004	0,05
Mar Mediterráneo	0,004	0,03
Mar Negro	0,003	0,03

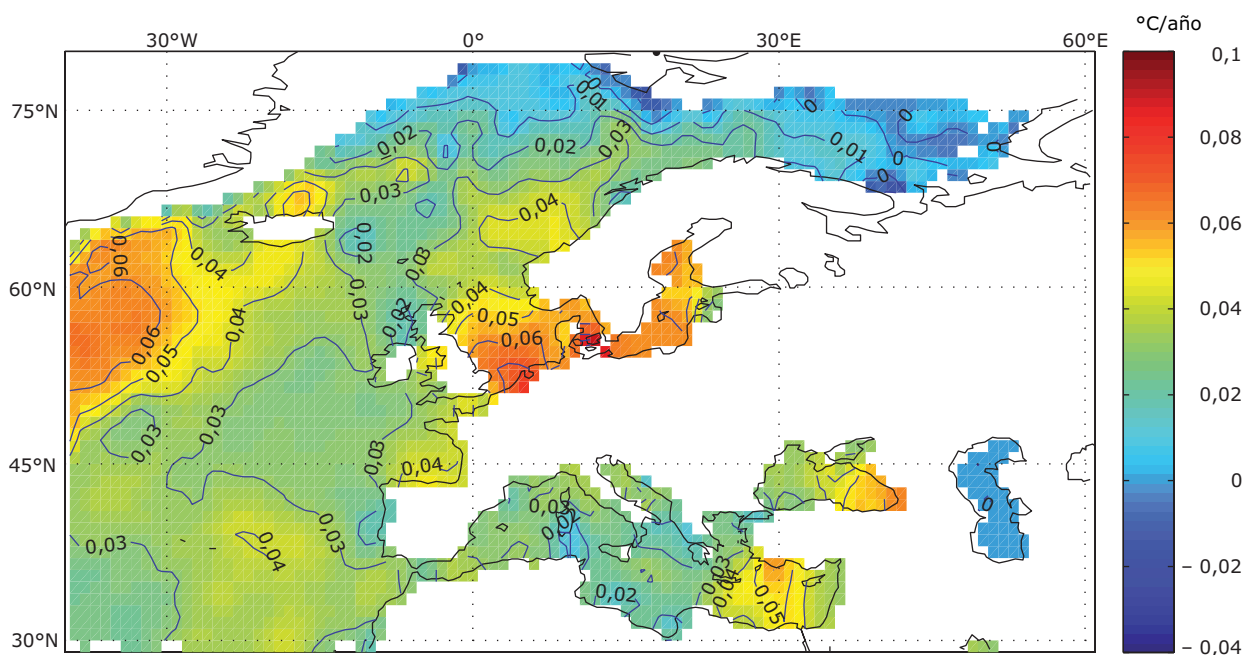
Fuente: Series de datos sobre TSM procedentes del Hadley Centre (HADISST1 (mundial)) y MOON (mar Mediterráneo) y del Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (mar del Norte y Báltico).

Figura 5.21 Anomalía de la temperatura de la superficie del mar en el período 1870–2006



Nota: Los datos muestran la diferencia en °C entre las temperaturas medias anuales y la media del período 1982–2006 en varios mares europeos. Las fuentes de los datos son: Series de datos procedentes del Hadley Centre (HADISST1 (mundial)), MOON (Mar Mediterráneo) y Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (mar del Norte y Báltico).

Fuente: Coppini *et al.*, 2007.

Mapa 5.20 Cambios en la temperatura de la superficie del mar en los mares europeos 1982-2006

Nota: Calculados a partir de las series de datos HADISST1, la unidad de las cifras está expresada en °C/año.

Fuente: Coppini y Pinardi, 2007.

Relevancia

La temperatura de la superficie del mar (TSM) guarda estrecha relación con uno de los principales impulsores del clima en Europa occidental: la circulación oceánica conocida como Circulación de Retorno Meridional (CRM) del Atlántico. Esta circulación (también conocida como 'gran cinta transportadora') traslada aguas superficiales cálidas hacia el norte en la Corriente del Golfo y aguas frías y profundas hacia el sur. El hecho de que la CRM constituya un importante impulsor de las variaciones de baja frecuencia de la temperatura de la superficie del mar a una escala cronológica de varias décadas, ha sido generalmente aceptado (Griffies *et al.*, 1997), como también el hecho de que el índice de la OAN (un indicador sustitutivo de la variabilidad atmosférica, véase la sección 5.2) desempeñe una función clave de forzamiento de variaciones en la CRM y en la extensión hacia el norte de la Corriente del Golfo (Frankignoul y Kestenare, 2005; De Coetlogon *et al.*, 2006). En la actualidad, los cambios en la temperatura de la superficie del océano mundial y de los mares regionales de Europa guardan coherencia con los de la temperatura atmosférica (Levitus *et al.*, 2000; Rayner *et al.*, 2006).

La sensibilidad de la CRM al calentamiento producido por los gases de efecto invernadero sigue siendo, sin embargo, objeto de debate científico. Las observaciones

realizadas indican que se ha producido un enfriamiento real del Atlántico Norte desde 1965, debido al aumento de la llegada de agua dulce de los ríos, la precipitación y la fusión de los glaciares (Curry y Mauritzen, 2005) y, por consiguiente, una posible debilitación de la CRM. El enfriamiento calculado por estos autores tuvo lugar sobre todo antes de 1970 y todavía no parece haber alterado sustancialmente la CRM ni su transporte de calor hacia el norte. Las incertidumbres sobre el ritmo del calentamiento climático y la fusión de los glaciares en el futuro limitan la predictibilidad del efecto sobre la circulación oceánica, aunque no excluyen la posibilidad de una debilitación de la CRM. Observaciones recientes han demostrado, no obstante, que la variabilidad de la CRM es grande. La CRM media anual es de $18,7 \pm 5,6$ Sverdrup⁽³⁾, pero con una gran varianza, entre 4,4 y 35,3 sverdrup (Cunningham *et al.*, 2007). Recientemente se ha demostrado que la variabilidad de la CRM podría ser predecible en escalas cronológicas de décadas y que las temperaturas de la superficie del mar experimentarán un ligero descenso en el Atlántico Norte y en Europa en la próxima década, conforme la variabilidad climática natural compense el calentamiento antropogénico previsto (Keenlyside *et al.*, 2008). No obstante, la verosimilitud de estas proyecciones también es objeto de debates en la comunidad científica (véase, por ejemplo, <http://www.realclimate.org>).

(³) 1 Sverdrup = $10^6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.



Un flotador PROVOR del programa Argo midiendo la temperatura de la superficie del mar

Fotografía: © Sabrina Speich y www.argo.ucsd.edu

Una de las ramificaciones más visibles del aumento de la temperatura del océano es la reducción de la zona cubierta por hielo marino en la región polar del Ártico (véase también la sección 5.3), existiendo un corpus cada vez mayor de datos avalados por pruebas que sugieren que los ecosistemas marinos están respondiendo tanto física como biológicamente a los cambios producidos en el clima regional ocasionados en su mayoría por el calentamiento del aire y la TSM, como demuestran las siguientes secciones.

Tendencias pasadas

Los cambios en la TSM de los mares regionales europeos son más acusados que los de los océanos mundiales (tabla 5.4). La tendencia más acusada durante los últimos 25 años se observa en el mar Báltico y en el mar del Norte, registrándose un ritmo inferior en el mar Negro y en el Mediterráneo. Los mares regionales experimentaron un calentamiento hasta seis veces superiores a los experimentados por los océanos mundiales en los últimos 25 años. Estos cambios no se han vuelto a registrar en ningún otro período de

igual duración desde que se pusieron en marcha las observaciones sistemáticas hace ya más de un siglo (figura 5.21).

El mapa 5.20 muestra la distribución espacial de esta tendencia en los mares europeos. La tendencia positiva de la temperatura es más acusada en el mar del Norte, mar Báltico, zona sur del Estrecho de Dinamarca, zona oriental del Mediterráneo y mar Negro. Los máximos absolutos se encuentran en el Atlántico Norte, a unos 50 N, en el Mar del Norte y en el Báltico, con valores por encima de los 0,06 y 0,07°C/año. En el mar de Groenlandia se han detectado tendencias negativas. En este punto las estimaciones también dependen de la extensión del hielo.

Proyecciones

El IPCC (2007a) informa de unas pautas de la TSM a escala mundial para el escenario A1B del IE-EE para los periodos 2011–2030, 2046–2065 y 2080–2099. En estos escenarios el océano se calienta a un ritmo más pausado que la atmósfera. Inicialmente, el calentamiento marino será más acusado en los 100 m superiores del océano (la capa superficial de mezcla de agua), pero conforme vaya avanzando el siglo XXI las temperaturas también aumentarán en las capas más profundas (IPCC, 2007a; Watterson, 2003; Stouffer, 2004).

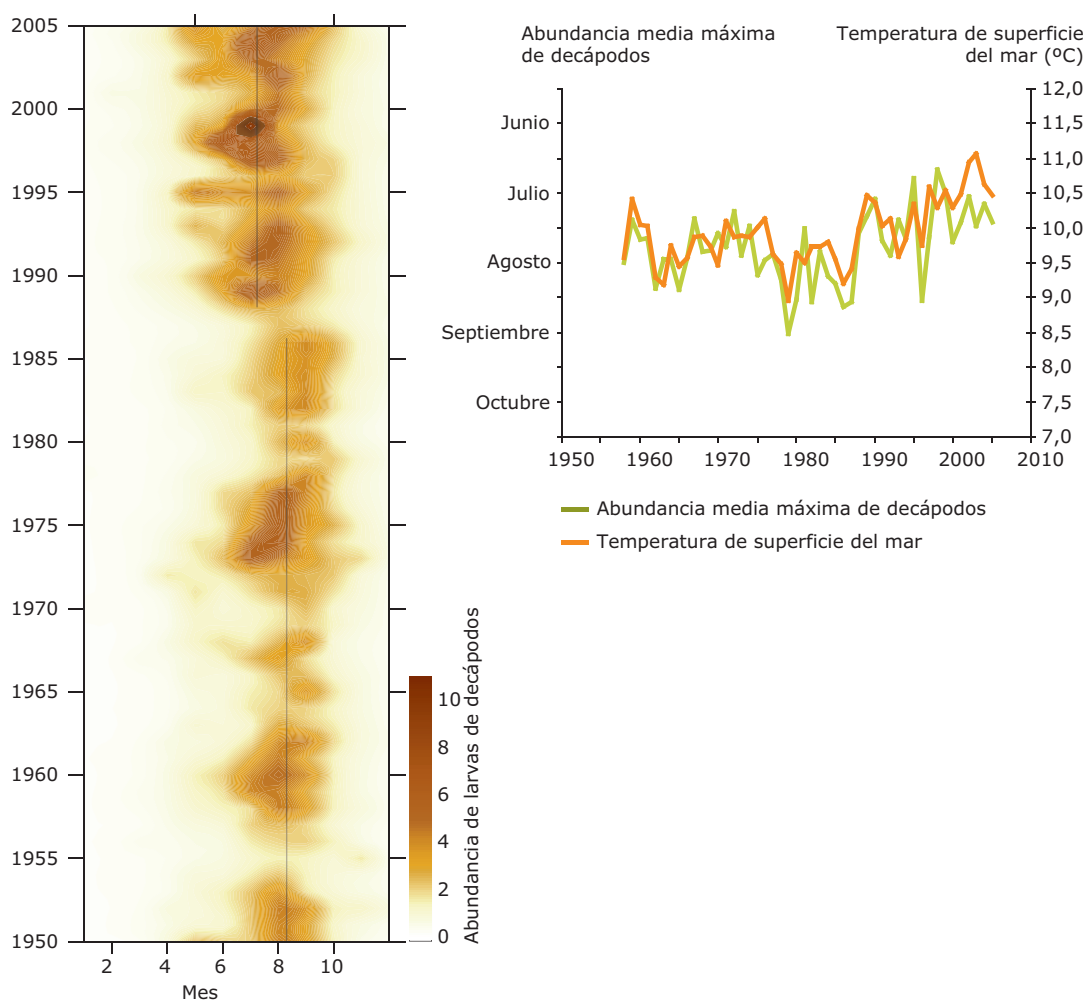
El escenario prevé un calentamiento oceánico relativamente importante en el Ártico y a lo largo del Ecuador en el Pacífico oriental, siendo menor en el Atlántico Norte y en el Antártico (por ejemplo, Xu *et al.*, 2005). También parece evidente que el calentamiento oceánico a lo largo del Ecuador es mayor, pudiendo vincularse a los cambios del flujo de calor oceánicos (Watterson, 2003) y a los cambios de temperatura de la atmósfera (Liu *et al.*, 2005). No es posible prever cambios en la TSM para las distintas regiones geográficas europeas porque los correspondientes modelos climáticos relacionados con el océano carecen de una resolución suficiente para evaluar las tendencias en el ámbito de los mares regionales europeos.

5.4.4 Fenología marina

Mensajes clave

- Los aumentos de la temperatura del océano han provocado que numerosos organismos marinos europeos aparezcan en fases más tempranas de sus ciclos estacionales que en el pasado. Así, el ciclo estacional de algunas especies se ha adelantado entre 4-6 semanas.
- Los cambios en la cronología de los ciclos estacionales tienen consecuencias importantes sobre el modo en que interactúan los organismos en las comunidades biológicas y, en última instancia, sobre las redes alimentarias marinas a todos los niveles tróficos del ecosistema. Entre estas consecuencias cabe destacar las siguientes:
 - mayor vulnerabilidad de las poblaciones de bacalao del mar del Norte a la sobreexplotación pesquera;
 - descenso de las poblaciones de aves marinas.
- Es posible que las especies marinas sean capaces de adaptarse genéticamente a las nuevas condiciones, pero, habida cuenta del ritmo actual del calentamiento climático, esta capacidad podría verse obstaculizada porque, para que se produzcan cambios genéticos relevantes, es preciso que transcurran numerosos ciclos reproductivos.

Figura 5.22 Abundancia de decápodos en la zona central del mar del Norte 1950–2005



Nota: Izquierda: en el gráfico de meses y años se muestra la media máxima estacional de abundancia de decápodos. Derecha: mes en el que se registró la máxima estacional de larvas de decápodos en cada año del período 1950–2005 (línea verde) junto con la temperatura de la superficie del mar (línea naranja).

Fuentes: Edwards y Richardson, 2004 (izquierda y derecha); Hadley Centre (<http://hadobs.metoffice.com/hadisst/data/download.html>) (derecha).

Relevancia

La fenología estudia los fenómenos de los ciclos vitales que se repiten anualmente, como la época de migración o la de floración de las plantas. En los ambientes marinos, entre los indicadores de la fenología figuran la época de la proliferación del fitoplancton primaveral y el máximo de abundancia de otros organismos marinos, como la aparición temprana de los dinoflagelados asociada a la estratificación hídrica estival. Los cambios fenológicos constituyen uno de los indicadores clave de los efectos del cambio climático en las poblaciones biológicas. Como la sensibilidad biológica a la temperatura varía en cada especie marina, estos cambios podrían provocar grandes alteraciones en la red alimentaria y afectar a la disponibilidad de alimentos para los peces, aves y mamíferos marinos más conocidos.

En el mar del Norte son muchas las especies que están apareciendo en fases tempranas de sus ciclos estacionales normales, mientras que otras no. Esto ha originado un desfase en las relaciones entre las especies y cambios en las estructuras de la red alimentaria (Edwards y Richardson, 2004). Los cambios producidos en el plancton han tenido una participación muy activa en la reducción de las poblaciones de bacalao del mar del Norte, inicialmente originada por la sobreexplotación pesquera (Beaugrand *et al.*, 2003), y han contribuido a los cambios experimentados por otras poblaciones de peces (lanzones) que constituyen una fuente esencial de alimentación para algunas aves marinas (Frederiksen *et al.*, 2006).

La zona meridional del mar del Norte se ha catalogado como especialmente vulnerable a los cambios fenológicos (Edwards, Woo y Richardson, en prep.). Estos cambios se han relacionado con el alcance y la velocidad del cambio climático regional.



Registrador continuo de plancton.

Fotografía: © SAHFOS, 2003

Por ejemplo, la zona meridional del mar del Norte se está calentando a un ritmo más acelerado que otras regiones del Atlántico Nororiental y el desfase fenológico ha sido allí mucho más pronunciado que en éstas.

Tendencias del pasado

En el mar del Norte, el trabajo realizado sobre fenología de las especies pelágicas ha demostrado que las comunidades de plancton, entre ellas, las larvas de los peces, son muy sensibles al calentamiento climático regional, variando la respuesta al mismo según los niveles tróficos y grupos funcionales. No obstante, todavía no se conoce la capacidad y la velocidad de adaptación de las comunidades planctónicas y de peces al cambio climático. En otras zonas regionales europeas, los datos a largo plazo correspondientes a los cambios de la fenología marina son bastante escasos. Algunos estudios preliminares señalan que durante la última década también se ha experimentado cierto desfase fenológico en algunas especies concretas de copépodos en el mar Mediterráneo (J. C. Molinero, com. pers.).

Se han seleccionado larvas de decápodos como representativas de los cambios fenológicos en los mares epicontinentales, dada la sensibilidad de su desarrollo a la temperatura (Lindley, 1987). El indicador de la estación de crecimiento del zooplancton muestra la cronología anual de la máxima abundancia estacional de estas larvas durante el período 1958–2005 en la zona central del Mar del Norte (figura 5.22, izquierda). Se puede apreciar claramente el adelanto del máximo estacional. Concretamente, desde 1988, el desarrollo estacional de las larvas de los decápodos ha sido mucho más temprano que la media a largo plazo (media de referencia: 1958–2005), adelantándose entre 4 - 5 semanas a la media a largo plazo durante la década de los noventa. Esta tendencia de las larvas durante la década de los noventa guarda estrecha correlación con la temperatura de la superficie del mar (figura 5.22, derecha).

Proyecciones

Todavía no se han formulado proyecciones sobre la reacción de las especies individuales al futuro cambio climático, pero la evidencia empírica sugiere que es muy probable que sigan produciéndose cambios fenológicos conforme siga acelerándose el calentamiento climático. En la actualidad se conoce con mucha menor certeza hasta qué punto las adaptaciones genéticas de las poblaciones de las distintas especies podrán enfrentar estos cambios y si el ritmo actual del calentamiento climático resulta excesivamente acelerado para que las adaptaciones genéticas ocurran.

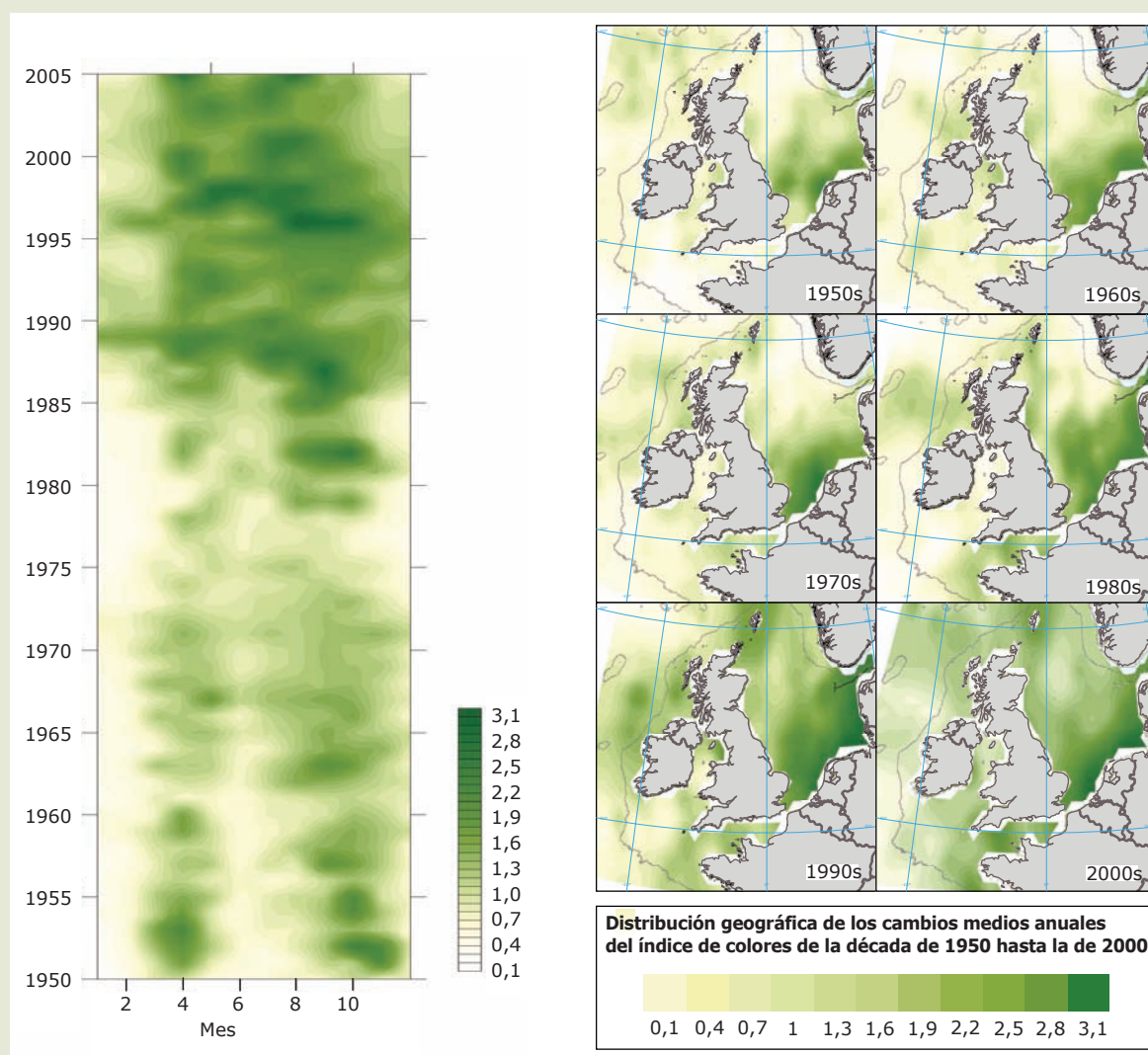
Recuadro 5.7 Estación de crecimiento y biomasa del fitoplancton

Se cree que los océanos absorben una tercera parte (unas 2 Gt C/año) de emisiones antropogénicas de CO₂ debido a la absorción fotosintética de este gas por el fitoplancton. Estas algas microscópicas son responsables de extraer dióxido de carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis y transferir el carbono así asimilado a otros niveles tróficos. El fitoplancton constituye también el nivel trófico inferior de la red alimentaria marina, de manera que todo cambio que se produzca repercute en toda la cadena trófica (zooplancton, peces, aves marinas, etc.) a través de un control ascendente. El aumento de la temperatura de la superficie del mar se ha vinculado a la ampliación de los períodos de producción vegetal en el mar del Norte (véase el ejemplo incluido a continuación). El crecimiento del fitoplancton también se rige por la disponibilidad de nutrientes y de luz, constituyendo un reto de investigación el identificar exactamente cómo va a afectar el cambio climático a la producción del fitoplancton en otras zonas de Europa.

Durante los últimos quince años, se ha producido un aumento considerable de la biomasa del plancton y una

ampliación de su período de crecimiento en el mar del Norte y en la zona oriental del Atlántico Norte (figura 5.23). Este cambio guarda estrecha relación con los cambios de temperatura de la superficie del mar y en el índice de la OAN (véase la sección 5.2). Concretamente, mediada la década de los ochenta se observó un aumento de la biomasa fitoplanctónica en el mar del Norte y en la zona occidental de Irlanda (Reid *et al.*, 1998; Edwards *et al.*, 2001), mientras que en la zona noroccidental de la plataforma continental de Europa se detectó un descenso de esa biomasa. No se conocen bien los mecanismos impulsores de este cambio, pero las distintas respuestas regionales se pueden explicar en parte por las variaciones de la OAN y la temperatura de la superficie del mar. Existen correlaciones positivas entre el índice de la OAN, la TSM y la biomasa del fitoplancton en el mar del Norte y la zona occidental de Irlanda, y correlaciones negativas en la zona noroccidental de la plataforma continental de Europa (Edwards *et al.*, 2001).

Figura 5.23 Cambio en el índice de color de la zona meridional del mar del Norte desde los años 50 y hasta el período 2000-2010



Nota: Los datos se han obtenido del Registrador Continuo de Plancton. Izquierda: diagrama de años y meses del cambio en el índice de colores en la zona meridional del mar del Norte.

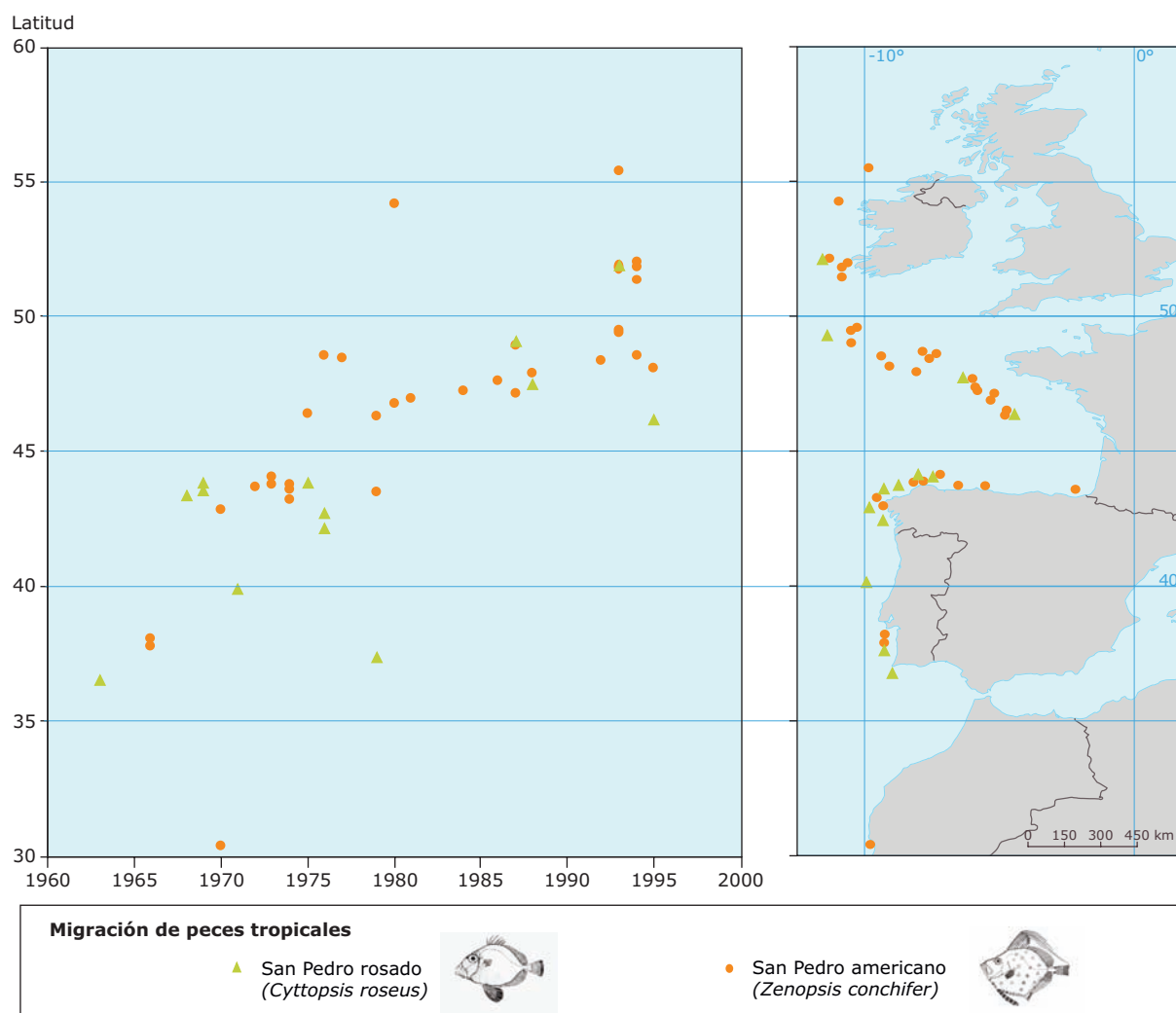
Fuente: Actualizado de Reid *et al.*, 1998 y Edwards *et al.*, 2001.

5.4.5 Desplazamiento de las especies marinas hacia el norte

Mensajes clave

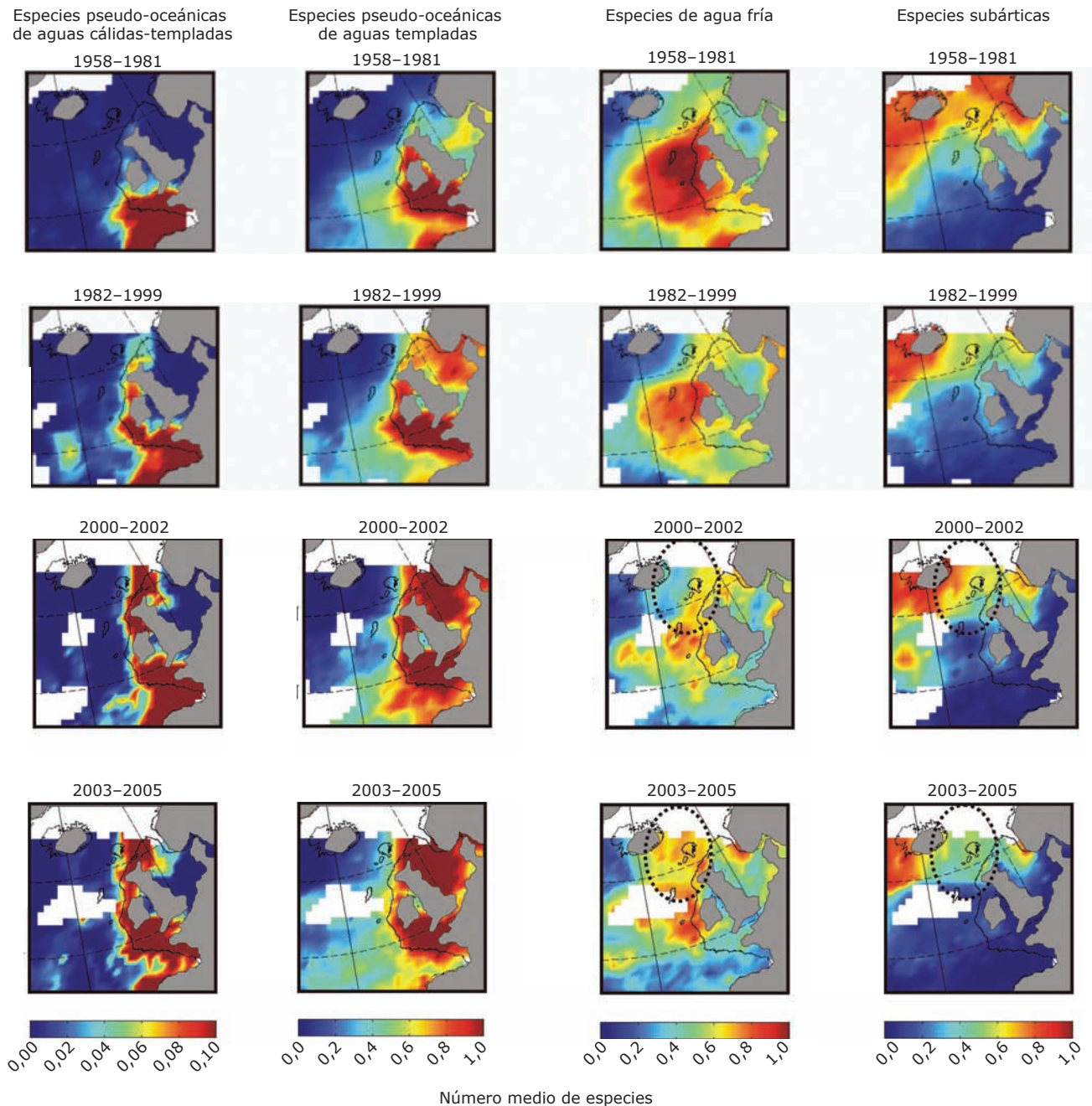
- En la zona nororiental del Atlántico, el aumento de la temperatura del mar en el ámbito regional ha provocado un gran desplazamiento del plancton de aguas más cálidas hacia el norte, así como un retroceso similar del plancton de aguas más frías. El desplazamiento septentrional ha sido de unos 10° de latitud (1.100 km) durante las cuatro últimas décadas aunque parece haberse acelerado a partir del año 2000 y repercutirá en la distribución de los peces en la región.
- Numerosas especies de peces y de plancton han cambiado sus distribuciones en dirección norte. En las aguas europeas cada vez aparecen con mayor frecuencia especies subtropicales y las especies del subártico se están retrayendo hacia el norte. El ritmo de desplazamiento hacia el norte de una especie concreta, el pez de San Pedro americano, se ha calculado en unos 50 km/año.
- Se han observado cambios en la distribución geográfica de algunas especies de peces que podrían afectar a la gestión pesquera. Los reglamentos pesqueros de la UE incluyen la asignación de cuotas basada en pautas históricas de capturas, de manera que cabría revisarlos.

Figura 5.24 Registros de dos peces tropicales durante 1963–1996



Nota: Registros de la migración de dos especies tropicales: pez de San Pedro americano (*Zenopsis conchifer*) y San Pedro rosado (*Cyttopsis roseus*) durante 1963–1996. A la izquierda se muestra la distribución en función de la latitud y de los años. A la derecha se muestra la distribución geográfica de las capturas.

Fuente: Quero *et al.*, 1998.

Mapa 5.21 Desplazamiento del zooplancton hacia el norte entre 1958 y 2005

Nota: El registro del desplazamiento del zooplancton hacia el norte abarca cinco décadas. Las especies de aguas más cálidas (pseudo-oceánicas de temperatura cálida) se están desplazando hacia el norte y las especies de aguas frías (subárticas) también se están desplazando en esa dirección descendiendo enormemente su presencia en el mar del Norte. En los últimos 45 años se ha observado un desplazamiento acelerado hacia el norte (aproximadamente 1.100 km) en el borde de la plataforma continental. Los datos se basan en observaciones realizadas con el Registrador Continuo de Plankton.

Fuente: Actualizado de Beaugrand *et al.*, 2002.

Relevancia

Numerosas especies de plancton y de peces han dirigido su distribución hacia el norte y en las aguas europeas aparecen especies subtropicales cada vez con mayor frecuencia, alterando notablemente la composición biológica de los ecosistemas marinos locales y regionales (Brander *et al.*, 2003; Beare *et al.*, 2004; Beare *et al.*, 2005; Perry *et al.*, 2005; Stebbing *et*

al., 2002). Estudios recientes han demostrado que el desplazamiento de las especies desde el sur hacia el norte ha originado un aumento de la riqueza biológica en el mar del Norte (Hiddink y Hofstede, 2008), que podría tener efectos ecológicos y socioeconómicos adversos: las tres grandes especies cuyo ámbito ha sufrido un mayor descenso en el mar del Norte son todas comercialmente importantes, mientras que sólo una de las cinco especies que están experimentando

un mayor aumento y menos de la mitad de las demás especies que han ampliado su ámbito tienen valor comercial. Por tanto, es previsible que un cambio de especies grandes por más pequeñas, inducido por el cambio climático, reduzca el valor de las pesquerías del mar del Norte (Hiddink y Hofstede, 2008).

Los tipos de peces disponibles para el consumo humano no están necesariamente afectados por los cambios mencionados en la distribución. Los peces son transportados a menudo a través de largas distancias desde el punto de captura hasta el lugar de comercialización, pero los precios del pescado podrían cambiar si determinadas especies que son habituales hoy en día pasan a no serlo. Las sociedades que consumen pescado capturado localmente podrían notar el cambio. La distribución alcanzada podría afectar a la gestión pesquera. Los reglamentos relativos a la pesca de la UE incluyen la asignación de cuotas basada en pautas históricas de capturas, de manera que cabría revisarlos.

En algún caso concreto, por ejemplo, el retroceso temprano del hielo marino en el Ártico, el efecto del cambio climático podría consistir en un aumento de las capturas de peces (ACIA, 2004), pero, en términos generales, no es posible predecir si los cambios de la distribución hacia el norte repercutirán positiva o negativamente en la producción total de las pesquerías (Brander, 2007).

Tendencias del pasado

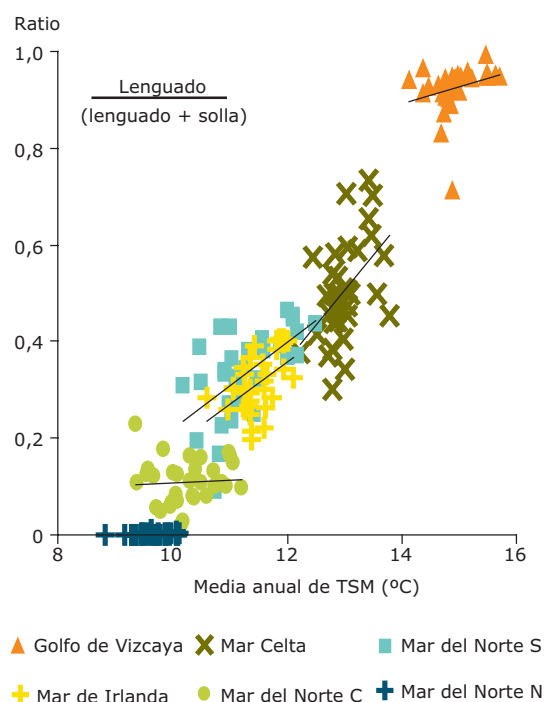
El aumento de las temperaturas del mar en el ámbito regional ha provocado una gran reorganización de la composición de especies del zooplankton y en general de la biodiversidad en toda la cuenca del Atlántico Norte (véase el mapa 5.21; Beaugrand *et al.*, 2003). Durante los últimos 40 años, en la zona nororiental del Atlántico se ha producido un desplazamiento del fitoplancton de aguas más cálidas hacia el norte, en unos 10° de latitud (1.00 km) y un retroceso similar de



Lenguado común (*Solea solea*)

Fotografía: © Biopix.dk; JC Schou

Figura 5.25 Abundancia relativa de especies de peces planos de aguas cálidas en aguas frías



Nota: Se muestran datos representativos de cuatro mares y tres secciones diferentes del mar del Norte, dependiendo de la media anual de la TSM. El índice se ha calculado a partir de las capturas anuales de lenguado y de solla en estas zonas y corresponde a la relación lenguado / (lenguado+solla). La TSM de todos los mares se correlaciona con la anomalía de la TSM en el mar del Norte que se muestra en la figura 5.21: ha habido una tendencia al crecimiento durante los últimos 25 años.

Fuente: Brander *et al.*, 2003.

plancton de aguas más frías. Este desplazamiento hacia el norte se ha prolongado hasta hace muy pocos años y parece haber sufrido una aceleración a partir del año 2000.

Las especies marinas tienen, en términos generales, un gran potencial de propagación. Las corrientes oceánicas pueden propagar el plancton y las larvas con rapidez a través de largas distancias y numerosas especies de peces tienen unas pautas de migración que superan los 100 km al año. Su desplazamiento es especialmente pronunciado a lo largo del borde de la plataforma continental europea y se ha asociado al movimiento hacia el norte de la corriente del borde de esta plataforma. El ritmo de desplazamiento biológico hacia el norte es, pues, más acelerado en el océano que en la superficie continental, debido en parte a que los entornos marinos presentan menos barreras a la dispersión que los sistemas terrestres, donde hay especies que, por ejemplo, no son capaces de cruzar las aguas.

Recuadro 5.8 Efectos inducidos por el cambio climático en la distribución y abundancia de peces en el mar Báltico

Los cambios en la composición de especies marinas observados en el mar Báltico no encajan en la pauta general de desplazamiento hacia el norte relacionado con el aumento creciente de la temperatura del agua. En este mar, la salinidad constituye uno de los factores dominantes de la composición de las comunidades biológicas. Esta salinidad oscila desde valores altos (próximos a los oceánicos) en los límites del mar del Norte y valores prácticamente similares al del agua dulce en la bahía de Botnia (la zona más septentrional entre Suecia y Finlandia). En términos generales, los ecosistemas acuáticos del Báltico son pobres en especies, pero con predominio de especies halófilas en las zonas occidentales de la frontera con el mar del Norte y con predominio de especies salobres y de agua dulce en las zonas centrales. Una pequeña variación en la salinidad puede cambiar la distribución de las especies. Los cambios de salinidad están provocados por las variaciones climáticas en las precipitaciones y la afluencia de agua salada procedente del mar del Norte. Al parecer, los cambios ya han sido lo suficientemente importantes como para afectar a la composición de la biota del mar Báltico.

La salinidad del Báltico ha descendido paulatinamente desde mediados de la década de los ochenta debido a un aumento de la afluencia de agua dulce (precipitación) y a una reducción de la afluencia procedente del mar del Norte, con agua más salina y oxigenada. De las tres grandes especies que se pescan, el bacalao (*Gadus morhua*), el arenque (*Clupea harengus*) y el espadín (*Sprattus sprattus*), el bacalao es especialmente sensible a la reducción de la salinidad: a niveles inferiores a 11 usp (unidades de salinidad práctica, g/l) los huevos pierden flotabilidad y el esperma resulta inactivo. Las mayores especies zooplanctónicas de presa para las larvas del bacalao *Pseudocalanus acuspes* también disminuyen su presencia cuando la salinidad es baja.

Las proyecciones climáticas futuras para el Báltico señalan aumentos constantes de la precipitación y descensos de la afluencia procedente del mar del Norte y, por tanto, que la distribución y la abundancia del bacalao y otras especies marinas sigan disminuyendo. Su posición en el ecosistema podrían asumirla otras especies más salobres y de agua dulce tales como el lavareto, la lucioperca y la perca (MacKenzie *et al.*, 2007).

La figura 5.24 muestra ejemplos claros y bien documentados de cambios producidos en especies de peces. El pez de San Pedro americano (*Zenopsis conchifer*) fue el primero registrado en las aguas europeas frente a la costa de Portugal, a 38°N en 1996, y desde entonces su presencia ha ido registrándose progresivamente cada vez más hacia el norte, hasta los 55° N a comienzos de la década de los noventa (Quero *et al.*, 1998). Probablemente es transportado en esa dirección por la corriente del talud continental. El ritmo del cambio hacia el norte supera los 50 km por año. Ahora otras especies que se han hecho mucho más habituales en zonas situadas más al norte, como la lubina (*Dicentrarchus labrax*), el salmonete de roca (*Mullus surmulletus*) y la anchoa europea (*Engraulis encrasicolus*), son probablemente capaces de hibernar y establecer allí poblaciones reproductoras (Brander *et al.*, 2003).

La tasa de captura de dos especies comunes de peces planos – la solla europea (*Pleuronectes platessa*) y el lenguado común (*Solea solea*) – puede utilizarse como índice del cambio de la abundancia relativa de una especie de aguas cálidas frente a otra de aguas frías (figura 5.25). Este cambio guarda relación con una tendencia al aumento de la temperatura registrada en los últimos 25 años, particularmente en la zona meridional del mar del Norte, mar de Irlanda y zona septentrional del mar del Norte. El cambio consiste en una modificación de su distribución, pues el lenguado y otras especies de aguas cálidas están empezando a ser relativamente más abundantes hacia el norte, mientras que la solla y otras especies de aguas frías han pasado a ser poco comunes en las zonas del sur (Brander *et al.*,

2003). Recientemente se ha demostrado que un mayor aumento de la temperatura podría llevar al lenguado a desovar antes aumentando así la duración de su período de crecimiento, mientras que la solla no parece haberse visto afectada (Teal *et al.*, 2008). El clima constituye únicamente uno de los muchos factores que afectan a la distribución y a la abundancia, pero la coherencia de la respuesta de este índice concreto a la temperatura, tanto en zonas determinadas (la tendencia cronológica) como en todas ellas (la tendencia geográfica) sugiere que la relación causal es bastante intensa. Además, un índice basado en tasas de capturas reduce al mínimo la influencia de la pesca cuando ésta actúa sobre ambas especies de forma similar, como sucede con estos dos peces planos, capturados con los mismos tipos de artes y a menudo en las mismas operaciones pesqueras.

También cabe citar otros factores que afectan a la abundancia y distribución, como la presión pesquera, las interacciones biológicas, la salinidad, el oxígeno, la OAN y la contaminación. En algunos casos, los cambios producidos en la distribución se deben probablemente a pautas geográficas de la pesca y no a efectos climáticos.

Proyecciones

Todavía no se han formulado escenarios de proyecciones para los movimientos futuros de las especies marinas. La incertidumbre que rodea a las proyecciones de cambios de distribución de los peces en los próximos 20-50 años tiene su origen en la inseguridad de las proyecciones del clima oceánico y de las respuestas de las comunidades de peces a estos cambios.

5.5 Cantidad de agua, inundaciones y sequías

5.5.1 Introducción

El agua es esencial para la vida y constituye un recurso indispensable para la práctica totalidad de las actividades humanas. Guarda una compleja interrelación con el clima a través de un gran número de conexiones y ciclos de retroalimentación, de manera que toda alteración en el sistema climático inducirá cambios en el ciclo hidrológico. El calentamiento de la tierra no sólo es la causa de una fusión generalizada de la nieve y el hielo, sino que además aumenta la capacidad de retención de agua del aire y aumenta la evaporación. Esto provoca un incremento de la cantidad de humedad del aire, una mayor intensidad del ciclo hídrico y cambios en la distribución, frecuencia e intensidad de las precipitaciones (véanse también las secciones 5.2.3 y 5.2.5). Por ello, la variabilidad climática y el cambio climático influyen en la distribución temporal y espacial de los recursos de agua dulce, así como cualquier actividad socioeconómica que dependa de ellos.

Cada vez existen más evidencias que vienen a avalar que los cambios producidos en el ciclo hidrológico mundial durante los últimos 50 años podrían guardar relación con cambios en el clima, como son el aumento de la escorrentía continental, una Europa septentrional más húmeda y una zona mediterránea más seca, un aumento en la intensidad de las precipitaciones extremas a lo largo de numerosas regiones continentales y cambios en la estacionalidad del caudal de los ríos en los lugares donde la precipitación invernal se produce principalmente en forma de nieve (véase también la sección 5.3).

No obstante, las tendencias a largo plazo en las variables hidrológicas se enmascaran a menudo detrás de una importante variabilidad interanual o de decenios. Si se comparan la disponibilidad de datos históricos sobre las variables meteorológicas, los registros hidrométricos son más escasos y limitados en el tiempo debido a la falta de una red extensa de observatorios a largo plazo de las variables. Además, la introducción de algunos factores distorsionadores como el cambio en el uso del suelo, las prácticas de gestión del agua o las extracciones extensivas de agua han cambiado considerablemente los flujos naturales de agua, lo que dificulta la detección de tendencias inducidas por el cambio climático en las variables hidrológicas. Por ello, podría pasar aún mucho tiempo

hasta que podamos observar cambios estadísticamente significativos, especialmente en la frecuencia de fenómenos extremos tales como inundaciones y sequías, a causa de su poca frecuencia y del carácter aleatorio con el que se producen.

Durante las próximas décadas, está previsto que el calentamiento global intensifique aún más el ciclo hidrológico, con impactos que serán probablemente más graves que los observados hasta ahora. Se prevé que el cambio climático originará grandes cambios en la disponibilidad anual y estacional de agua en toda Europa. En términos generales, se prevé un aumento de la disponibilidad de agua en las regiones septentrionales, aunque podrían disminuir los flujos estivales. Las regiones meridionales y suorientales, que ya sufren estrés hídrico con gran frecuencia, se verán especialmente expuestas a las reducciones de recursos hídricos y experimentarán un incremento en la frecuencia y la intensidad de las sequías. Por otra parte, se prevé un aumento excesivamente elevado de los caudales de los ríos en grandes zonas de Europa debido al aumento de fenómenos de lluvias intensas, incluso en regiones que pasarán a ser, en términos medios, más áridas. Las proyecciones cuantitativas de los cambios en las precipitaciones y en los caudales de los ríos en el ámbito de las cuencas fluviales siguen estando sujetas, no obstante, a un elevado grado de incertidumbre a causa de las limitaciones de los modelos climáticos, así como a cuestiones de escala entre el clima y los modelos hidrológicos.

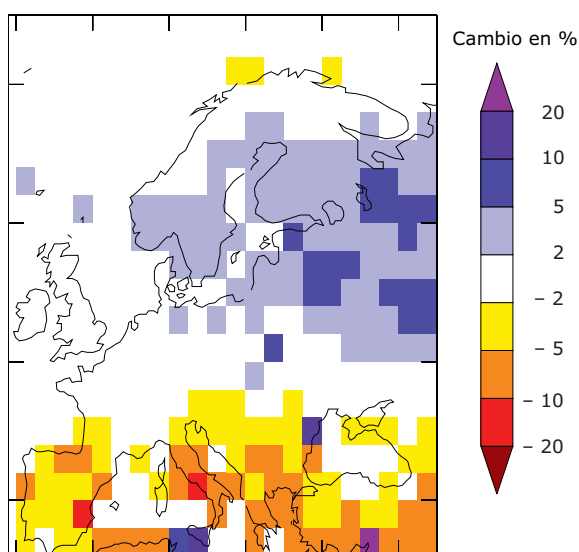
Los cambios previstos inducidos por el clima agravarán el impacto de otros factores de estrés (como el uso del suelo y los cambios demográficos y socioeconómicos) sobre la disponibilidad de agua, los ecosistemas de agua dulce, la producción energética, la navegación, el riego, el turismo y sobre otros muchos sectores. A la luz de la incertidumbre que rodea a estos cambios, es necesario diseñar unos procedimientos de adaptación susceptibles de ser alterados o que sean sólidos frente a los cambios. Entre dichas medidas figuran, por ejemplo, el fomento de la concienciación, mejorar la eficiencia hídrica y fomentar la conservación del agua para mitigar el estrés hídrico, orientando la planificación territorial y la gestión de las cuencas hacia una mejora de la retención, reduciendo el riesgo de inundaciones, así como el control efectivo, la detección y la alerta temprana sobre los peligros o los cambios en la disponibilidad de agua.

5.5.2 Caudal de los ríos

Mensajes clave

- Durante el siglo XX, los caudales anuales de los ríos mostraron una tendencia ascendente en Europa septentrional, registrándose aumentos principalmente en invierno, y ligeramente descendente en Europa meridional. Estos cambios guardan relación con los cambios observados en los patrones de precipitación y en la temperatura.
- Se prevé un descenso del caudal anual de los ríos en Europa meridional y suroriental y un aumento en Europa septentrional, pero existe la incertidumbre sobre los cambios en términos absolutos.
- Está previsto que el cambio climático cause cambios acusados en la estacionalidad de los caudales de los ríos de toda Europa. Se prevé un descenso de los caudales estivales en la mayor parte de Europa, incluso en regiones donde los caudales anuales experimentarán un aumento.
- Está previsto que las regiones de Europa meridional, que ya sufren estrés hídrico con frecuencia, sean especialmente vulnerables a las reducciones de los recursos hídricos a causa del cambio climático. Esto provocará un aumento de la competencia por los recursos disponibles.

Mapa 5.22 Modelización del cambio en el caudal anual de los ríos entre los períodos 1971–1998 y 1900–1970



Nota: Este mapa está basado en un conjunto de 12 modelos climáticos y ha sido validado por observación de los caudales.

Fuente: Milly *et al.*, 2005.

Relevancia

El agua constituye un recurso indispensable para la salud humana, para los ecosistemas y para la actividad socioeconómica. Desde el punto de vista de los recursos, el caudal de los ríos constituye una medida de la disponibilidad sostenible de agua dulce en las cuencas. La variación del caudal de los ríos viene determinada fundamentalmente por la estacionalidad de la precipitación y la temperatura, así como por las características de la cuenca, como la geología, los suelos y la cobertura del suelo. El caudal de los ríos puede servir de indicador, ya que los cambios en los

patrones de temperatura y precipitación originados por el calentamiento global modifican la distribución del agua en la superficie terrestre y, como consecuencia, el balance hidrológico anual de las cuencas, así como la temporalidad y estacionalidad de los caudales. Los cambios en la disponibilidad del agua pueden afectar negativamente a los ecosistemas y a diferentes sectores socioeconómicos como la gestión del agua, la producción energética, la navegación, el riego y el turismo.

A la luz del calentamiento global previsto y de los cambios conexos en la disponibilidad de agua, cada vez será más importante equilibrar las demandas sociales, industriales, agrícolas y ambientales. Las opciones sostenibles para mitigar los efectos de los cambios en la disponibilidad de agua incluyen la mejora de la eficiencia hídrica, la reutilización del agua y la medición y la tarificación del agua para fomentar la concienciación y la conservación de este recurso.

Tendencias anteriores

De acuerdo con los cambios observados en la precipitación y en la temperatura (véanse las secciones 5.2.2 y 5.2.3), existen algunas pruebas de cambios inducidos por el clima en el caudal anual de los ríos, así como en la estacionalidad del caudal en Europa durante el siglo XX. Sin embargo, la intervención humana a nivel de cuenca, como la captación de aguas subterráneas, el riego, la regulación de los ríos, los cambios en el uso del suelo y la urbanización, han alterado considerablemente los regímenes de los caudales de los ríos en grandes zonas de Europa, causando confusión en los estudios sobre detección del cambio climático.

En las zonas septentrionales de Europa, el caudal medio anual de los ríos ha aumentado en términos generales (Lindström y Bergström, 2004; Milly *et al.*,

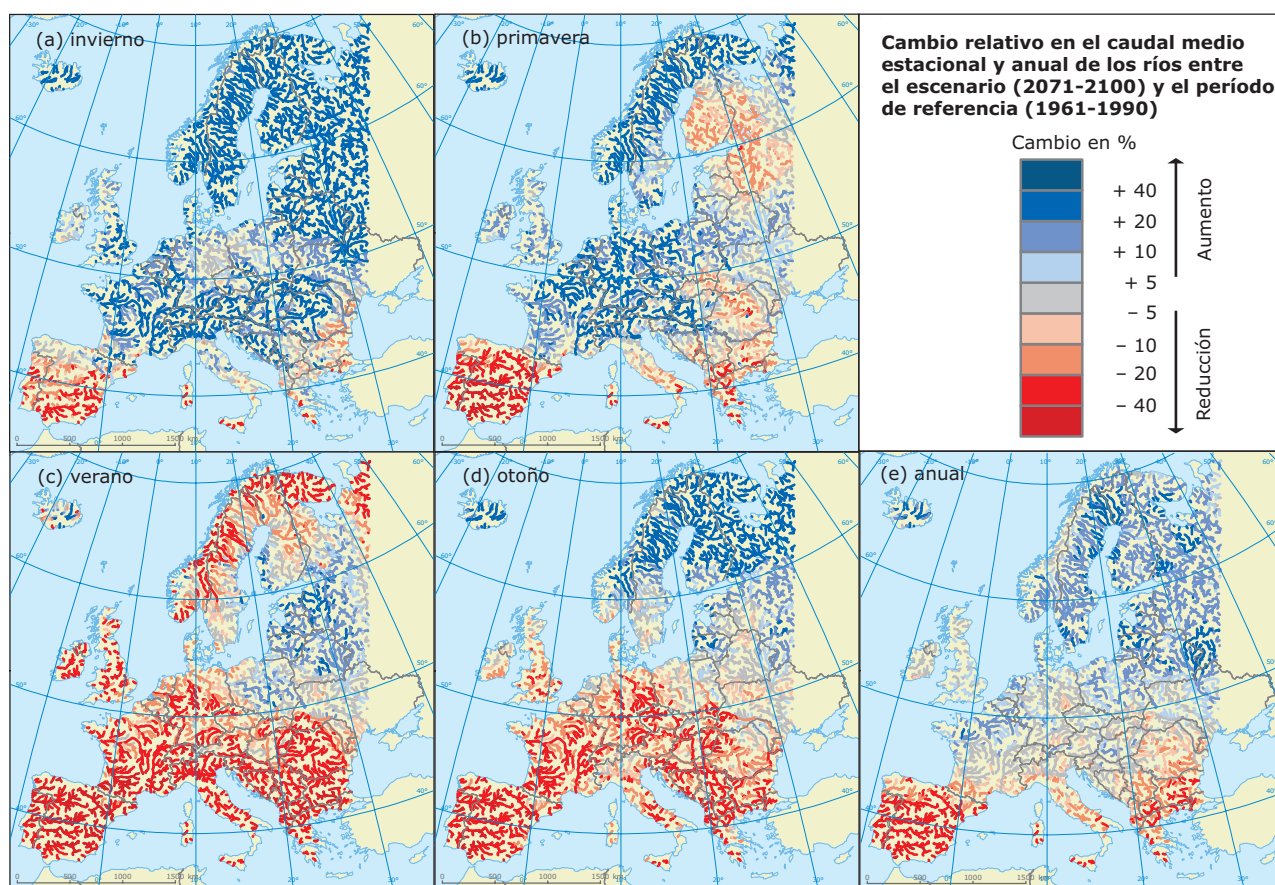
2005). Los aumentos se produjeron principalmente en invierno y en primavera (Hisdal *et al.*, 2007), causados probablemente por un aumento general de la temperatura en los últimos décadas (véase la sección 5.2.2) combinado con un aumento de la precipitación invernal (véase la sección 5.2.3) en las regiones septentrionales. También se han observado incrementos significativos en el caudal de los ríos en una tercera parte de las estaciones de aforo de los ríos en Escocia durante las tres últimas décadas (Werritty, 2002), así como en la zona occidental de Gran Bretaña durante el invierno y el otoño, lo que concuerda con los recientes aumentos de la precipitación invernal y con un índice positivo de la Oscilación del Atlántico Norte (véase la sección 5.2) (Dixon *et al.*, 2006). No obstante, algunos de estos cambios podrían formar parte de la variabilidad natural (Wade *et al.*, 2005). En Europa occidental y central, las series de datos medios de caudal anuales y mensuales de los ríos parecen haberse mantenido estacionarios durante el siglo XX (Wang *et al.*, 2005). En las regiones montañosas de Europa central, sin embargo, las principales tendencias identificadas son el



Fotografía: © Agencia Europea de Medio Ambiente

aumento del caudal anual de los ríos debido al aumento del caudal en invierno, primavera y otoño. Durante el verano, se han detectado tendencias tanto ascendentes como descendentes (Birsan *et al.*, 2005). En zonas meridionales de Europa se ha observado una tendencia

Mapa 5.23 Cambio previsto en el caudal medio estacional y anual de los ríos entre 2071–2100 y el período de referencia 1961–1990



Nota: Simulaciones realizadas con el modelo LISFLOOD regidas por los modelos globales HadAM3H/HadCM3 del modelo regional HIRHAM sobre la base del escenario A2 del IE-EE del IPCC.

Fuente: Dankers y Feyen, 2008a.

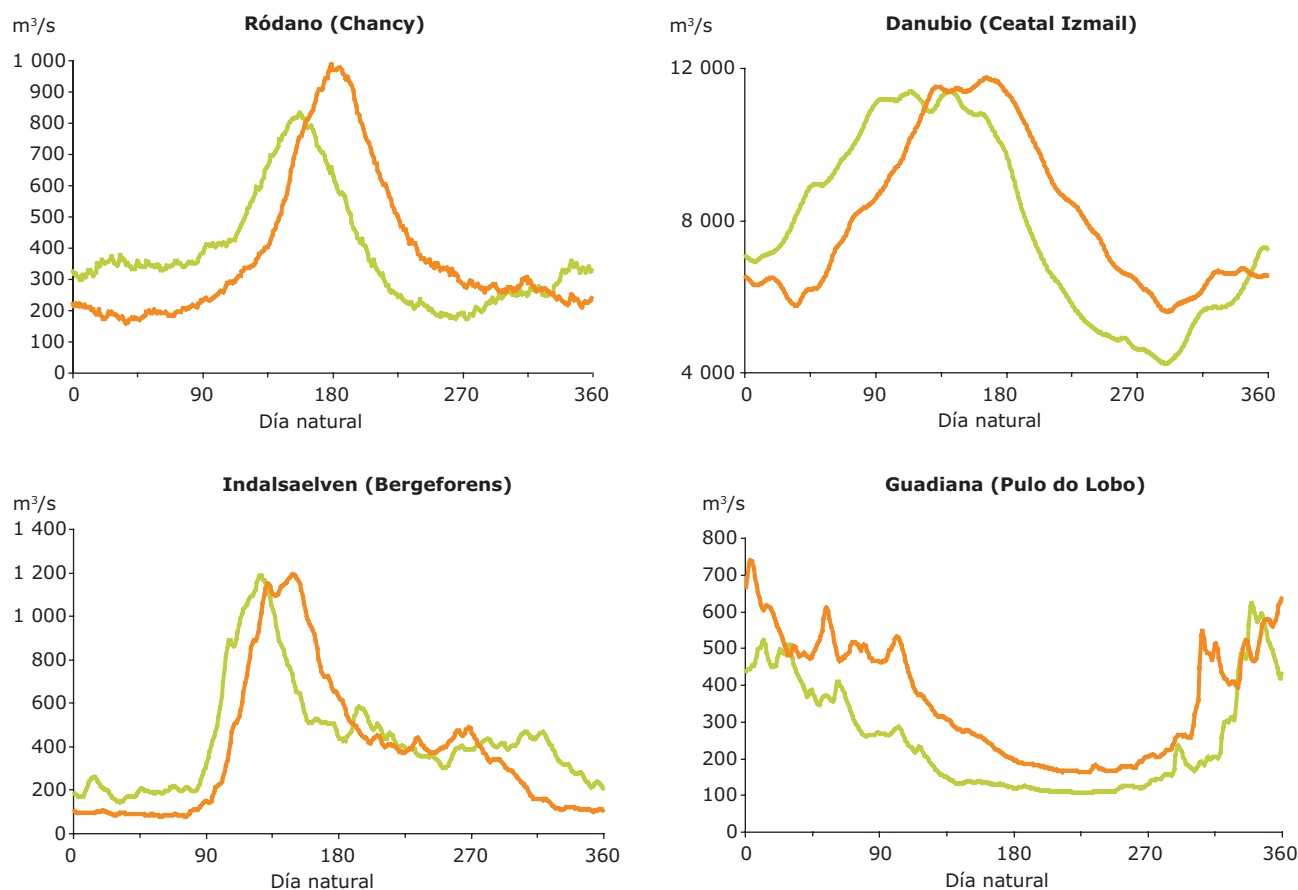
ligeramente descendente en el caudal anual de los ríos (Milly *et al.*, 2005).

Proyecciones

Se prevé una disminución de los caudales anuales de los ríos en Europa meridional y suroriental y un aumento en Europa septentrional y nororiental (Arnell, 2004; Milly *et al.*, 2005; Alcamo *et al.*, 2007). También están previstos importantes cambios en la estacionalidad de los caudales de los ríos, con grandes diferencias en toda Europa. Se prevé que los caudales invernales y primaverales aumenten en la mayor parte

de Europa, salvo en las regiones más al sur y sudeste. Se prevé una disminución de los caudales en la mayor parte de Europa en verano y en otoño, salvo en las regiones del norte y el nordeste, donde aumentarán los caudales otoñales (Dankers y Feyen, 2008a). En las regiones dominadas por la nieve, como los Alpes, Escandinavia y el Báltico, el descenso de la retención invernal en forma de nieve, el adelanto del deshielo y la reducción de la precipitación estival mermarán el caudal de los ríos en verano (Andréasson, *et al.*, 2004; Jasper *et al.*, 2004; Barnett *et al.*, 2005), época en que la demanda de agua suele ser generalmente mayor.

Figura 5.26 Cambio previsto en el caudal medio diario de los ríos entre 2071–2100 y el período de referencia 1961–1990



Nota: Caudal de los ríos previsto 2071–2100 (línea verde) y caudal observado durante 1961–1990 (línea naranja). Simulaciones realizadas con el modelo LISFLOOD regidas por los modelos globales HadAM3H/HadCM3 del modelo regional HIRHAM sobre la base del escenario A2 del IE-EE del IPCC.

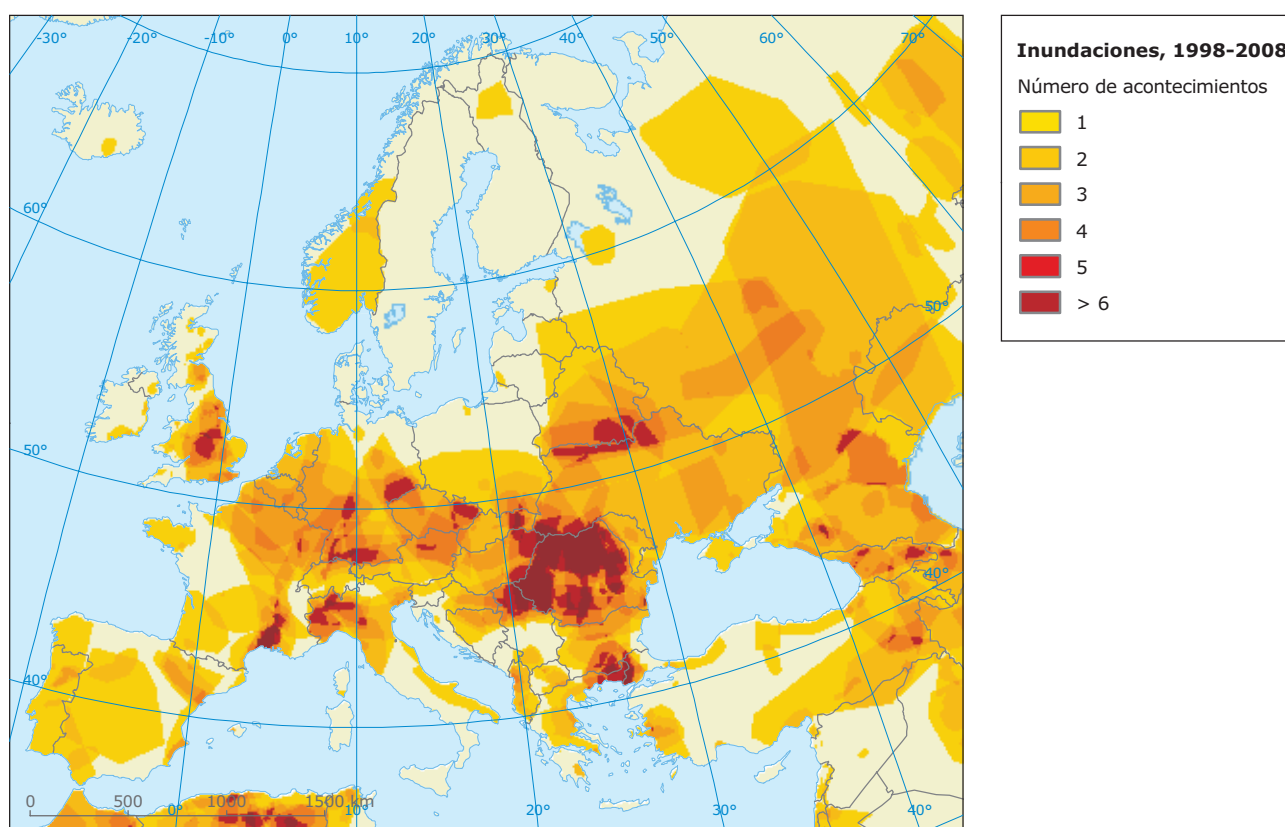
Fuente: Dankers y Feyen, 2008a.

5.5.3 Inundaciones de ríos

Mensajes clave

- Aunque todavía no se ha observado ninguna tendencia significativa en los caudales extremos de los ríos, en Europa se registraron dos veces más máximos de caudal entre los años 1981 y 2000 que entre 1961 y 1980.
- Desde 1990, se han registrado 259 grandes inundaciones en Europa, 165 de las cuales se registraron a partir del año 2000. El aumento del número de inundaciones registradas durante las últimas décadas se debe principalmente a la mejora de los procesos de información y a los cambios en el uso del suelo.
- No obstante, se prevé que el calentamiento global intensificará el ciclo hidrológico y aumentará la incidencia y la frecuencia de los fenómenos de crecidas en grandes extensiones de Europa, aunque las estimaciones de cambios en la frecuencia y la magnitud de las inundaciones siguen estando sujetas a un elevado grado de incertidumbre.
- Las proyecciones sugieren que el calentamiento provocará una reducción en la acumulación de nieve durante el invierno y por lo tanto, un menor riesgo de inundación a principios de la primavera.

Mapa 5.24 Frecuencia de inundaciones en Europa durante el período 1998–2008



Fuente: Basado en datos procedentes del Observatorio de inundaciones de Dartmouth (<http://www.dartmouth.edu/~foods/>).

Relevancia

Existen varios tipos de inundaciones, como las debidas a las crecidas de los ríos a gran escala, las inundaciones repentinas, las inundaciones ocasionadas por las barreras de hielo y el deshielo y las inundaciones costeras originadas por la elevación del nivel del mar (véase la sección 5.4.2). Las inundaciones debidas a las crecidas de los ríos continentales están relacionadas principalmente

con fenómenos de precipitación intensa o prolongada o al deshielo, lo que las convierte en unos indicadores adecuados sobre el cambio climático.

Las inundaciones debidas a las crecidas de los ríos son las catástrofes naturales más comunes en Europa. Pueden ocasionar importantes pérdidas económicas originadas por daños en las infraestructuras, las propiedades y explotaciones agrícolas, y pérdidas

indirectas en las zonas inundadas o más allá de las mismas, como pérdidas de producción causadas por daños en las materias primas o en las carreteras, o por la interrupción de la producción de electricidad y de la navegación. Pueden provocar pérdidas de vidas, especialmente en el caso de las inundaciones repentinas, y un desplazamiento de la población, y pueden tener efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Es necesario revisar los procedimientos de diseño de las infraestructuras de control de inundaciones para que puedan hacer frente a los cambios previstos en materia de precipitaciones extremas y caudales de los ríos. Será necesario cambiar la política de gestión de inundaciones de una posición defensiva hacia la gestión del riesgo y la mejora de la capacidad de las sociedades para convivir con las inundaciones. Todo ello sería posible gracias al uso de medidas de protección contra las inundaciones no estructurales tales como la planificación territorial, la alerta temprana, los sistemas de socorro y de recuperación tras las inundaciones, así como la existencia de los seguros contra inundaciones (Kundzewicz *et al.*, 2002).

Tendencias anteriores

A pesar del importante aumento experimentado en el número de grandes inundaciones registradas y a las pérdidas económicas causadas en Europa durante las últimas décadas (véase la sección 7.3), todavía no se ha detectado ninguna tendencia general significativa relacionada con el clima sobre los caudales extremadamente altos que provocan las inundaciones (Bécquer y Grunewald, 2003; Glaser y Stangl, 2003; Mudelsee *et al.*, 2003; Kundzewicz *et al.*, 2005; Pinter *et al.*, 2006; Hisdal *et al.*, 2007; Macklin y Rumsby, 2007).

No obstante, se han registrado algunos cambios que podrían guardar relación con el cambio climático. Por ejemplo, en Europa se registraron casi el doble de caudales máximos entre 1981 y 2000 que entre 1961 y 1980 (Kundzewicz *et al.*, 2005), mientras que a escala mundial es probable que haya incrementado la

frecuencia de los fenómenos de inundación extrema en cuencas de gran tamaño (Milly *et al.*, 2002). Por otra parte, durante las últimas décadas se ha registrado un descenso de la frecuencia y la gravedad de las inundaciones causadas por el deshielo y las barreras de hielo debido a inviernos más calientes junto con una cubierta de nieve menos abundante (por ejemplo, Mudelsee *et al.*, 2003; Brázdil *et al.*, 2006; Cyberski *et al.*, 2006). En los países nórdico, las inundaciones causadas por el deshielo se han adelantado debido a que los inviernos son más cálidos (Hisdal *et al.*, 2007). En Portugal, el cambio en los patrones de precipitación ha provocado mayores inundaciones y más frecuentes durante el otoño, pero un descenso en el número de inundaciones en invierno y primavera (Ramos y Reis, 2002). En el Reino Unido se han observado tendencias positivas en los caudales altos durante los últimos 30-50 años (Robson, 2002; Dixon *et al.*, 2006), algunas de las cuales son coherentes con los cambios observados en la Oscilación del Atlántico Norte. No obstante, de la comparación entre la variabilidad climática histórica y los registros sobre inundaciones se desprende que muchos de los cambios observados en las últimas décadas podrían haberse debido a la variación climática natural. Los cambios producidos en el sistema terrestre, como la urbanización, la deforestación, la pérdida del almacenamiento natural de las llanuras de inundación, así como la gestión de las inundaciones y de los ríos han afectado sustancialmente a la incidencia de las inundaciones (Barnolas y Llasat, 2007).

Proyecciones

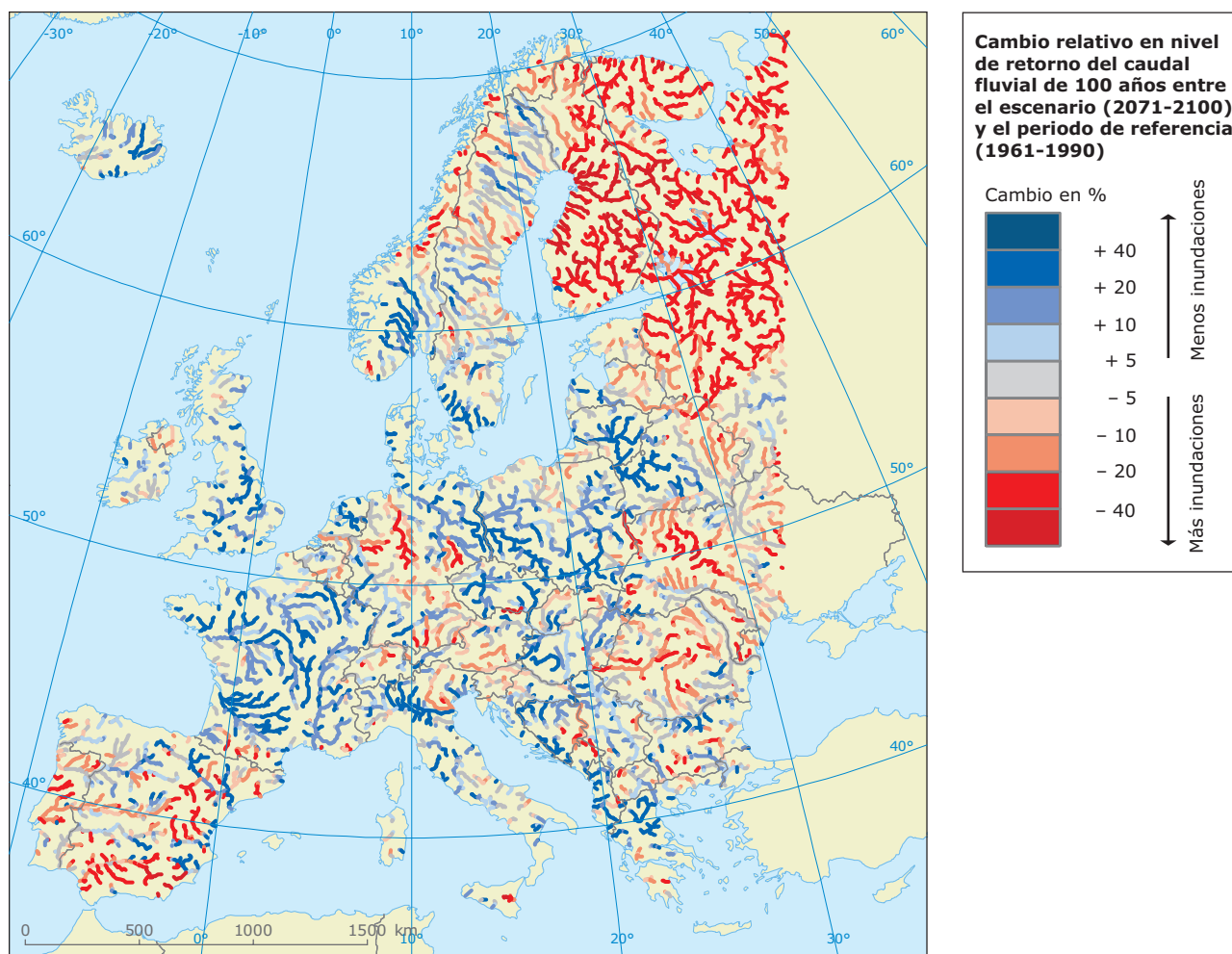
Aunque aún no se disponen de pruebas que confirmen que los fenómenos de inundaciones extremas producidos en los últimos años sean una consecuencia directa del cambio climático, podrían dar una indicación de lo que cabe esperar: está previsto que aumente la frecuencia y la intensidad de las inundaciones en grandes zonas de Europa (Lehner *et al.*, 2006; Dankers y Feyen, 2008b). Más concretamente, es previsible que las inundaciones repentinas y urbanas, provocadas por fenómenos locales de precipitación intensa, adquieran mayor frecuencia en toda Europa (Christensen y Christensen, 2003; Kundzewicz *et al.*, 2006). También es probable que aumente el peligro de inundaciones durante los inviernos más húmedos y más cálidos, con mayor frecuencia de lluvia y menor frecuencia de nieve (Palmer y Räisänen, 2002). Incluso en las regiones donde se registre un descenso significativo del caudal medio de los ríos, como la Península Ibérica, el aumento previsto en la intensidad y la variabilidad de la precipitación podrían causar más inundaciones. En las regiones dominadas por la nieve como los Alpes, los Cárpatos y las zonas septentrionales de Europa, está previsto que descendan las inundaciones primaverales causadas por el deshielo debido a la reducción de la temporada de nieves y a la menor acumulación de nieve durante los inviernos más cálidos (Kay *et al.*, 2006; Dankers y Feyen, 2008b).



Fotografía:

© Pavel Šťastný

Mapa 5.25 Cambio previsto en un nivel de retorno del caudal fluvial de 100 años entre 2071 y 2100 y el período de referencia 1961–1990



Nota: Simulaciones realizadas con el modelo LISFLOOD regidas por los modelos globales HadAM3H–HadCM3 del modelo regional HIRHAM sobre la base del escenario A2 del IE-EE del IPCC.

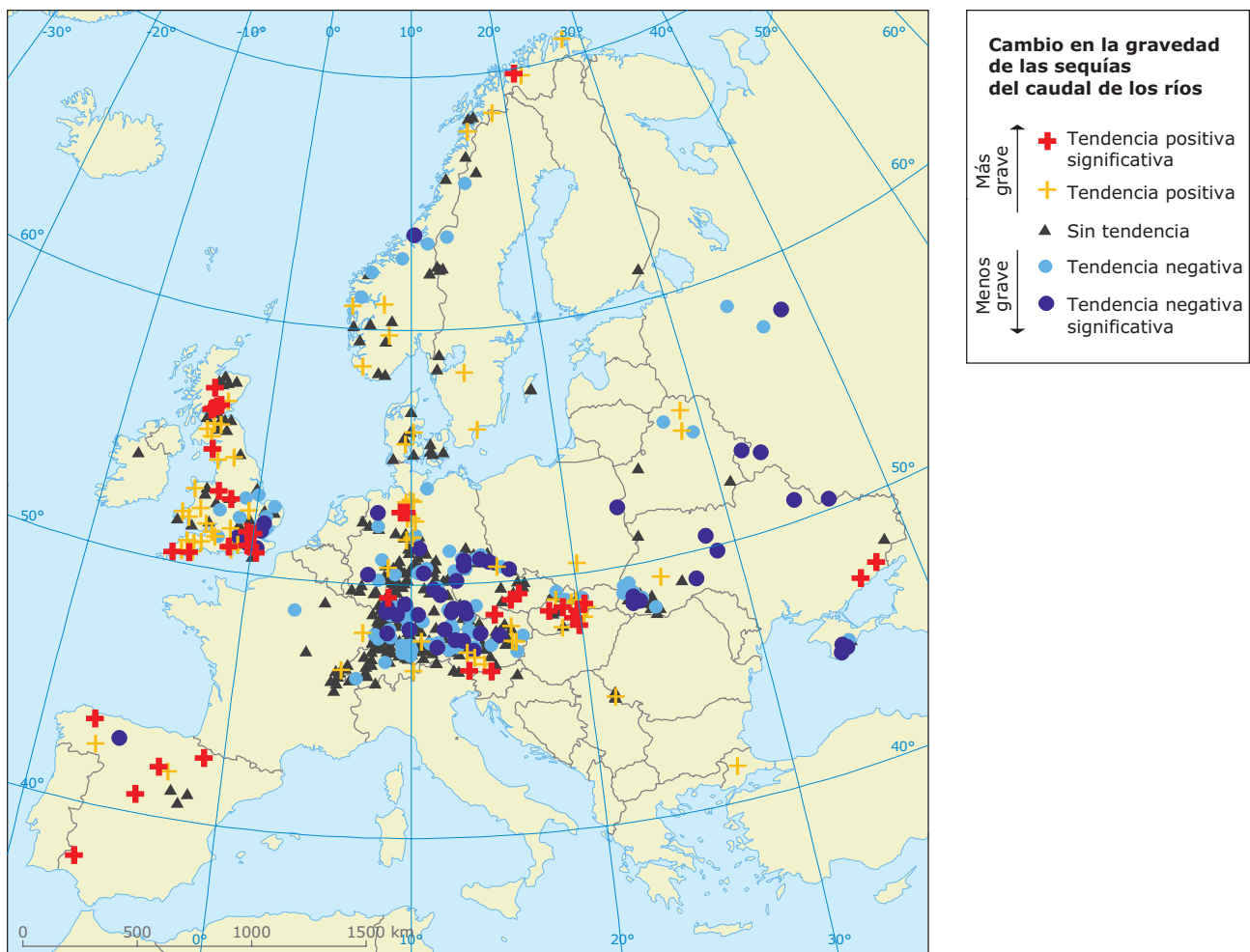
Fuente: Dankers y Feyen, 2008b.

5.5.4 Sequía del caudal de los ríos

Mensajes clave

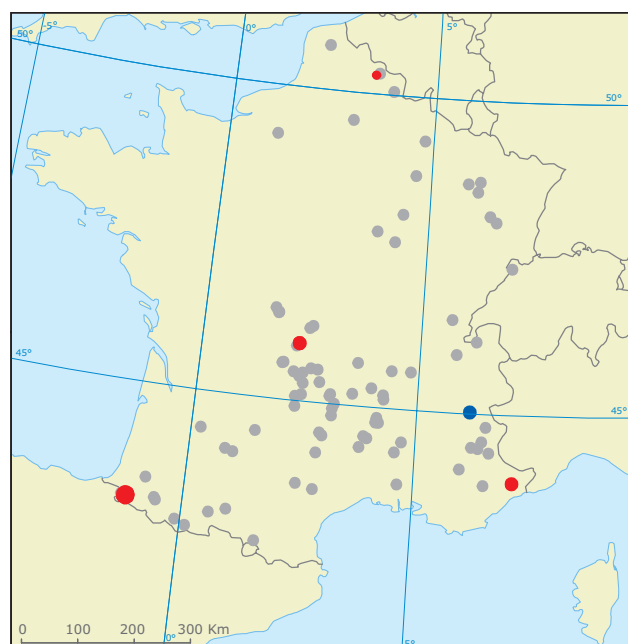
- Durante las últimas décadas, Europa se ha visto afectada por varias sequías importantes, como la sequía catastrófica vinculada a la ola de calor de 2003 en las zonas centrales del continente y la sequía que afectó a la Península Ibérica en 2005.
- A pesar de que no existe ninguna tendencia global en el conjunto de Europa, es probable que el cambio climático haya incrementado la frecuencia y/o la gravedad de las sequías en algunas regiones.
- Está previsto que el cambio climático aumente la frecuencia y la intensidad de las sequías en numerosas regiones de Europa como resultado del aumento de las temperaturas, del descenso de las precipitaciones estivales y del aumento de la frecuencia y de la duración de los períodos secos.
- Las regiones más proclives al aumento del riesgo de sequía son las situadas en Europa meridional y suroriental, aunque también se experimentará un descenso considerable en los caudales mínimos de los ríos en muchas otras zonas del continente, especialmente durante el verano.

Mapa 5.26 Cambio en la gravedad de las sequías del caudal de los ríos en Europa durante 1962–1990

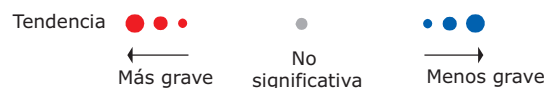


Fuente: Hisdal et al., 2001.

Mapa 5.27 Cambio en la gravedad de las sequías del caudal de los ríos en Francia durante 1960-2000



Cambio en la gravedad de las sequías del caudal de los ríos en Francia para el período 1960-2000



Fuente: Lang *et al.*, 2006.

Relevancia

El concepto de sequía puede referirse a la sequía meteorológica (precipitación muy por debajo de la media, sección 5.2.3), a la sequía hidrológica (caudal bajo de los ríos, nivel bajo de los lagos y del nivel freático la capa freática), a la sequía agrícola (déficit de humedad en el suelo, secciones 5.8 y 5.9), a la sequía ambiental (impacto sobre los ecosistemas) o a la sequía socioeconómica (impacto sobre los bienes económicos y los servicios). En esta sección se presta atención a la sequía hidrológica y, más concretamente, a la sequía de los caudales de los ríos, como una medida de la disponibilidad sostenible de agua dulce en una cuenca y que está sujeta a la influencia del cambio climático. Además, los datos relativos al caudal de los ríos están más disponibles que otra información hidrométrica como, por ejemplo, la recarga de acuíferos, el almacenamiento de aguas superficiales y la humedad del suelo. Sin embargo, el cambio en los usos del suelo, las prácticas de gestión del agua y las extracciones extensivas de agua pueden ocultar frecuentemente las tendencias inducidas por el clima en caudales de ríos extremadamente bajos.

Las sequías prolongadas tienen impactos económicos, sociales y ambientales importantes. Afectan a varios

sectores tales como la producción energética, tanto en términos de disponibilidad de agua para la energía hidroeléctrica como de agua de refrigeración para la producción eléctrica, la navegación fluvial, la agricultura y el abastecimiento público de agua.

Es posible mitigar los efectos adversos de las sequías y de los caudales bajos de los ríos sobre el abastecimiento por medio de un uso combinado de aguas superficiales y subterráneas, de la desalación del agua del mar y del almacenamiento y el trasvase de agua. Entre las medidas que afectan a la demanda figuran la mejora de la eficiencia hídrica, la medición y la tarificación del agua. La escasez de agua se puede predecir por medio de un control efectivo y una previsión con vistas al futuro de los caudales de los ríos y del almacenamiento de los embalses.

Tendencias anteriores

Durante las tres últimas décadas, Europa se ha visto afectada por varias sequías importantes, en particular las de 1976, 1989, 1991 y, más recientemente, la sequía asociada a la ola de calor del verano de 2003 y que se extendió a lo largo de varias zonas del continente. La sequía más grave vivida en la Península Ibérica en 60 años se produjo en 2005, y se calcula que provocó una disminución de la producción global de cereales en la UE cercana al 10%. Esta sequía también provocó incendios forestales, acabando con la vida de 15 personas y destruyendo 180.000 ha de bosques y terrenos agrícolas tan sólo en Portugal (PNUMA, 2006). No obstante, no hay pruebas que confirmen que las sequías de los caudales de los ríos se hayan agravado o hayan adquirido mayor frecuencia en Europa de manera general durante las últimas décadas (Hisdal *et al.*, 2001), ni tampoco se dispone de pruebas concluyentes que apunten a un aumento generalizado de la sequedad estival en Europa durante los cincuenta últimos años a causa de una menor disponibilidad de humedad durante la época estival (van der Schrier *et al.*, 2006).

A pesar de no existir una tendencia general en Europa, se han observado claras divergencias regionales. Concretamente, en España, en la parte oriental de Europa oriental y en grandes zonas del Reino Unido se han observado sequías más graves en el caudal de los ríos (Hisdal *et al.*, 2001). Sin embargo, en el Reino Unido no existen indicios de un aumento significativo en la frecuencia del caudal bajo de los ríos (Hanneford y Marsh, 2006). En buena parte de Europa central y en las zonas occidentales de Europa oriental se ha observado una reducción de la gravedad de las sequías (Hisdal *et al.*, 2001). En Francia, la gran mayoría de las estaciones mostraron una tendencia descendente de la mínima anual del caudal medio de los ríos a 30 días durante los últimos 40 años, pero no se detectó ninguna tendencia similar aplicable a la gravedad de las sequías ni a su duración (Lang *et al.*, 2006). En la parte meridional y oriental de Noruega se ha registrado una tendencia al

Recuadro 5.9 Aguas subterráneas

Las principales presiones que sufre el sistema de aguas subterráneas a causa del cambio climático son la elevación del nivel del mar, la reducción de la capa de hielo superficial y de las áreas de permafrost, el descenso de la recarga de acuíferos, especialmente en los países de Europa meridional, picos de caudal más extremos y caudales bajos más prolongados de los ríos, así como un aumento de la captación de aguas subterráneas. Las regiones con mayor índice de precipitación podrían sufrir un aumento de los niveles freáticos que podría afectar a las viviendas y a las infraestructuras.

Los efectos resultantes en la cantidad de aguas subterráneas son la reducción de los recursos de agua dulce subterránea, especialmente en las zonas costeras y en los países de Europa meridional, mientras que los organismos de aguas salobres y aguas subterráneas saladas se expandirán. Además, los cuerpos de

agua dulce subterránea serán más vulnerables a la contaminación debido a la reducción de los tiempos de renovación y a la aceleración de los caudales subterráneos

La intrusión salina en los acuíferos costeros, que hace que el agua sea inadecuada para su consumo, podría verse agravada por una futura elevación del nivel del mar. Resulta más difícil predecir otros efectos sobre la calidad de las aguas subterráneas, pues dependen enormemente de los cambios en el uso del suelo. No obstante, ya se sabe con certeza que la temperatura del agua subterránea ha aumentado en 1°C por término medio desde la década de los setenta (Stuyfzand *et al.*, 2007). Si se producen nuevos aumentos también aumentará la salinidad de las aguas subterráneas debido al incremento de las pérdidas por evapotranspiración, al incremento de la presión del CO₂ del suelo y de la interacción roca-agua

aumento de la gravedad de las sequías estivales (Hisdal *et al.*, 2001). Por otra parte, varias estaciones europeas han mostrado tendencias que conducen a la reducción de la gravedad de los caudales bajos de agua durante el siglo XX, en consonancia con el aumento del número de embalses que se han ido poniendo en marcha en las cuencas durante el período sobre el que existen datos disponibles (Svensson *et al.*, 2005).

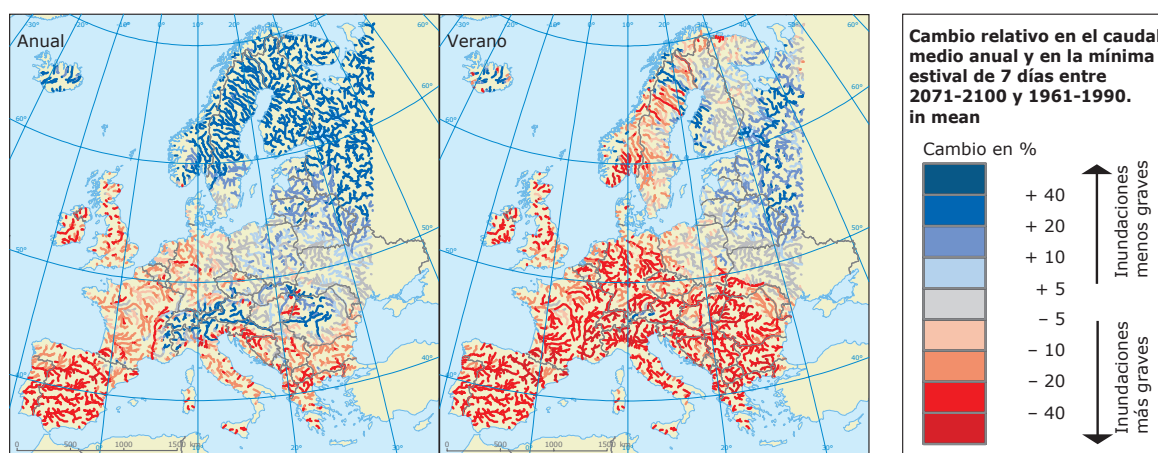
Proyecciones

Está previsto que aumente la frecuencia y la gravedad de las sequías en el caudal de los ríos en Europa meridional y suroccidental, en el Reino Unido, en Francia, en el Benelux y en la zona occidental de Alemania durante las próximas décadas. En las regiones con predominio de nieve, y donde las sequías ocurren por general en invierno, se prevé que las sequías de los caudales de los

ríos serán menos graves porque una menor cantidad de precipitación caerá en forma de nieve en los inviernos más cálidos

En la mayor parte de Europa, el descenso previsto de las precipitaciones estivales, combinado con un aumento de las temperaturas que favorecerá la evaporación lo que podrá incrementar la frecuencia y la intensidad de las sequías estivales (Douvillat *et al.*, 2002; Lehner *et al.*, 2006; Feyen y Dankers, 2008). Como resultado del cambio climático y del aumento de las extracciones de agua, aumentará el número de cuencas afectadas por un intenso estrés hídrico, con el consiguiente aumento de la competencia por los recursos hídricos. Las regiones más expuestas a un aumento del riesgo de sequía son la región mediterránea y partes de Europa suroccidental, las cuales ya sufren con mucha frecuencia el estrés hídrico (Alcamo *et al.*, 2003; Schröter *et al.*, 2005).

Mapa 5.28 Cambio previsto en el caudal medio anual y en el mínimo estival durante 7 días entre 2071–2100 y el período de referencia 1961–1990



Nota: Las sequías más grave se muestran en color rojo y las menos grave en azul. Simulaciones realizadas con el modelo LISFLOOD regidas por los modelos globales HadAM3H-HadCM3 del modelo regional HIRHAM sobre la base del escenario A2 del IE-EE del IPCC.

Fuente: Feyen y Dankers, 2008.

5.6 Calidad del agua dulce y biodiversidad

5.6.1 Introducción

El cambio climático también puede alterar significativamente la calidad del agua. Por ejemplo:

- *cambios físicos* de variables tales como la temperatura del agua (véase el indicador sobre la temperatura del agua), la cubierta de hielo de los ríos y lagos (véase la sección 5.6.3), la estratificación de las masas de agua lacustres y la descarga de agua, incluido el nivel de agua y el tiempo de retención de las cuencas;
- *cambios químicos*, en particular el contenido de oxígeno, la carga de nutrientes y el color del agua;
- *cambios biológicos* que afectan a la estructura y al funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

Los cambios en estas variables tienen efectos en los bienes socioeconómicos y servicios ambientales que dependen de estos sistemas directa o indirectamente.

Un aumento de la temperatura del agua afectará a los procesos biogeoquímicos y ecológicos que determinan la calidad del agua, pudiendo provocar:

- *Una reducción del contenido de oxígeno.* El aumento de la temperatura del agua en ríos y lagos reduce el contenido de oxígeno y acelera la respiración biológica, que a su vez puede reducir el oxígeno disuelto, sobre todo en los períodos estivales de bajo caudal y en las capas más profundas de los lagos. El aumento de la temperatura y la reducción de las concentraciones de oxígeno causarán estrés en los hábitats de especies de aguas frías, como los salmónidos en lagos y ríos.
- *Una reducción de la cubierta de hielo*, por rotura temprana de hielo y prolongación de los períodos sin hielo en ríos y lagos (véase la sección 5.6.3).
- *Una estratificación vertical más estable y una menor mezcla de agua de lagos de aguas profundas* que afecta a las condiciones de oxigenación de las aguas, al ciclo de nutrientes y a las comunidades biológicas.
- *Eutrofización.* En términos generales, un clima más cálido intensifica la carga de nutrientes en las aguas superficiales y subterráneas. El aumento de la temperatura facilita la mineralización y liberación de nitrógeno, fósforo y carbono de la materia orgánica del suelo y aumenta la escorrentía y la erosión, acelerándose con ello el transporte de materia. Es posible también una mayor liberación de fósforo de los sedimentos del fondo de los lagos estratificados por el descenso de las concentraciones de oxígeno en esas aguas.
- *Un cambio en las épocas de proliferación de las algas y mayor abundancia de las nocivas* (véase la sección 5.6.4).
- *Alteraciones de hábitats y consecuente distribución de los organismos acuáticos.* La distribución geográfica de los organismos acuáticos se rige en parte por la temperatura. El aumento de ésta modifica la distribución (hacia el norte de Europa y hacia cotas

más altas) y puede provocar la extinción de algunas especies (véase la sección 5.6.4).

Además de la temperatura, otros factores del cambio climático pueden afectar la calidad del agua. En las zonas donde se produzca un descenso del caudal de los ríos y de la recarga de acuíferos, la calidad del agua también podría descender porque la dilución de los contaminantes también será menor. El aumento de la intensidad y la frecuencia de las inundaciones y de la precipitación extrema aumentará la carga contaminante de materia orgánica, nutrientes y sustancias peligrosas arrastrados desde el suelo y por desbordamiento de los sistemas de alcantarillado hacia los cuerpos de agua.

Muchos aspectos del cambio climático, entre ellos, el aumento de la temperatura, las variaciones de la pluviosidad y la escorrentía, afectan a la distribución y movilidad de sustancias peligrosas en los sistemas de agua dulce. La carga de sustancias peligrosas podría aumentar por rebosamiento de agua cloacal, así como por el uso de pesticidas y por la escorrentía originada por lluvias intensas. Por su parte, el aumento de temperatura acelera el ritmo de degradación de algunos pesticidas y contaminantes orgánicos, lo que podría reducir sus concentraciones en ríos y lagos. Por todo ello, no se conoce con certeza cuál es el efecto neto del cambio climático sobre las sustancias peligrosas. El aumento de la temperatura del aire y del agua podría cambiar la migración y captación biológica de los contaminantes orgánicos tóxicos transportados a través de la atmósfera, entre ellos los que ya se han prohibido (Grimalt *et al.*, 2001).

El agua dulce europea está viéndose afectada por diversas actividades humanas, incluidos los cambios en el uso del suelo, la contaminación con nutrientes y sustancias peligrosas y la deposición ácida. Debido a la dificultad de separar los efectos de los factores climáticos de otras presiones, apenas se dispone de datos empíricos que demuestren de forma inequívoca el efecto del cambio climático sobre la calidad del agua y la ecología del agua dulce. Por otro lado, existen muchos indicios de que, por un lado, el agua dulce que ya está sometida al estrés de las actividades humanas es muy susceptible a los efectos del cambio climático y de que, por otro, el cambio climático podría entorpecer considerablemente los intentos por devolver a algunos de los cuerpos de agua a un estado ecológico considerado óptimo.

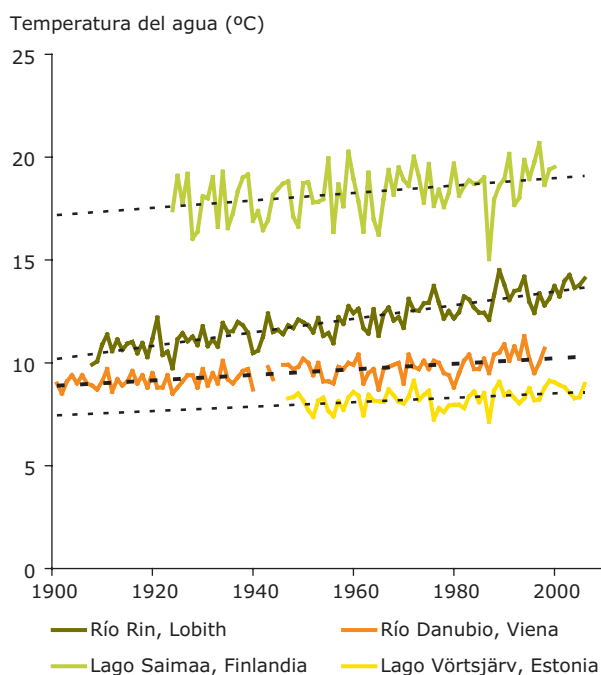
En la actualidad son muchas las investigaciones nacionales y europeas que ofrecen resultados relevantes y valiosos acerca de los efectos del cambio climático sobre el agua dulce de Europa. Pueden verse, entre ellos, Euro-limpacs (<http://www.eurolimpacs.ucl.ac.uk/index.php>) y CLIME: Climate and Lake Impacts in Europe (<http://clime.tkk.fi/>). El IPCC publicó en 2008 un informe sobre el cambio climático y el agua en el que sintetizaba las distintas secciones dedicadas al agua del cuarto informe de evaluación de 2007.

5.6.2 Temperatura del agua

Mensajes clave

- En el siglo pasado, la temperatura del agua de algunos ríos y lagos europeos experimentó un aumento entre 1 - 3°C, originado principalmente por el ascenso de la temperatura del aire y, a escala local, debido también a la llegada de agua caliente de refrigeración procedente de las centrales eléctricas.
- En consonancia con el aumento previsto de la temperatura del aire, la temperatura del agua superficial de los lagos podría subir unos 2°C de aquí a 2070.

Figura 5.27 Temperatura del agua durante el siglo XX en cuatro ríos y lagos europeos seleccionados



Nota: Temperatura media anual del agua en los cursos de los ríos Rin (1909–2006) y Danubio (1901–1998), en el lago Võrtsjärv (1947–2006) y temperatura media en agosto en el lago Saimaa, Finlandia (1924–2000).

Fuente: Río Rin: Rijkswaterstaat; río Danubio: Hohensinner et al., 2006; lago Saimaa: Korhonen (com. pers.), y lago Võrtsjärv: Instituto Estonio de Meteorología e Hidrología.

Relevancia

La temperatura del agua viene determinada en parte por el intercambio de calor con la atmósfera, por lo que el aumento de la temperatura del aire provoca también un ascenso de la del agua. Sobre todo en el caso de las aguas estancadas y en situaciones de bajo caudal de los ríos, el ascenso térmico modifica las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua, con los consiguientes efectos sobre la meteorología. Todo esto afecta a la estructura y el funcionamiento de

los ecosistemas, el uso del agua y los servicios de los ecosistemas.

Los efectos del aumento de la temperatura del agua también pueden generar una estratificación vertical más estable de los lagos profundos y un mayor agotamiento del oxígeno en el fondo de éstos (la estratificación en otros lagos podría llegar a ser menos estable, dependiendo del viento), un aumento de la frecuencia de proliferaciones de algas nocivas, la reducción de hábitats de aguas frías y una mayor incidencia de enfermedades dependientes de la temperatura (véase también la sección 5.6.4).

La intervención humana sólo puede paliar hasta cierto punto estos efectos del aumento de la temperatura del agua, por ejemplo, reduciendo la presión ejercida por otras actividades, como la contaminación por nutrientes y sustancias peligrosas o las modificaciones hidromorfológicas. Este tipo de acciones podrían reducir la vulnerabilidad de los cuerpos de agua al estrés resultante del calentamiento del agua. Es probable que haya que incorporar a los planes de gestión de las cuencas fluviales medidas adicionales de reducción de la carga contaminante para obtener un 'mejor estado ecológico', como exige la Directiva marco sobre el agua.

Tendencias del pasado

Datos de series cronológicas de larga duración que abarcan los últimos cien años, muestran que la temperatura del agua superficial de algunos de los ríos más importantes de Europa aumentó entre 1 y 3°C durante el siglo pasado. La temperatura del río Rin aumentó 3°C entre 1910 y 2006. Se calcula que dos terceras partes de este aumento se deben al mayor uso del agua para refrigeración en Alemania y una tercera parte a efectos del cambio climático (MNP, 2006). En el Danubio, la temperatura media anual aumentó un 1°C durante el último siglo. En algunos de los grandes lagos se detectó un aumento similar: en el lago Võrtsjärv en Estonia, se registró un aumento de 0,7°C entre 1947 y 2006 y la temperatura del agua en agosto del lago

Saimaa en Finlandia aumentó más de 1°C durante el mismo período.

Hay numerosas series cronológicas de menor duración de la temperatura del agua en los últimos 30-50 años, siendo la tendencia general de la temperatura de los sistemas de agua dulce europeos a un aumento, en términos generales, de entre 0,05 y 0,8°C por década.

George y Hurley (2004) detectaron que la temperatura del lago Windermere (Inglaterra) y del Lough Feeagh (Irlanda) aumentó entre 0,7 y 1,4°C entre 1960 y 2000. La temperatura del lago Veluwe (Países Bajos) ha aumentado más de 1°C desde 1960 (MNP, 2006).

En ocho lagos lituanos (Pernaravičiūtė, 2004) y en seis lagos polacos (Dabrowski *et al.*, 2004) se ha detectado un fuerte aumento de la temperatura. Desde 1950, la temperatura de las aguas superficiales de los lagos y los ríos suizos ha aumentado, en algunos casos, más de 2°C (BUWAL, 2004; Hari *et al.*, 2006). En los grandes lagos de los Alpes, la temperatura ha aumentado, en términos generales, entre 0,1 y 0,3°C por década: ocurre en el lago Mayor y otros grandes lagos italianos (Ambrosetti y Barbanti, 1999), en el lago de Zúrich (Livingstone, 2003), en el lago Constanza y en el lago de Ginebra (Anneville *et al.*, 2005).

Dokulil *et al.* (2006) estudiaron la tendencia de la temperatura del hipolimnion (masa de agua del fondo) de doce lagos profundos de Europa y detectaron, en términos generales, un aumento de la temperatura de entre 0,1 y 0,2°C por década, lo que podría repercutir de forma significativa en la estratificación térmica y la mezcla de agua en los lagos. Esto afecta a las condiciones de oxigenación y al ciclo de nutrientes en los lagos.



Fotografía: © Agencia Europea de Medio Ambiente

Proyecciones

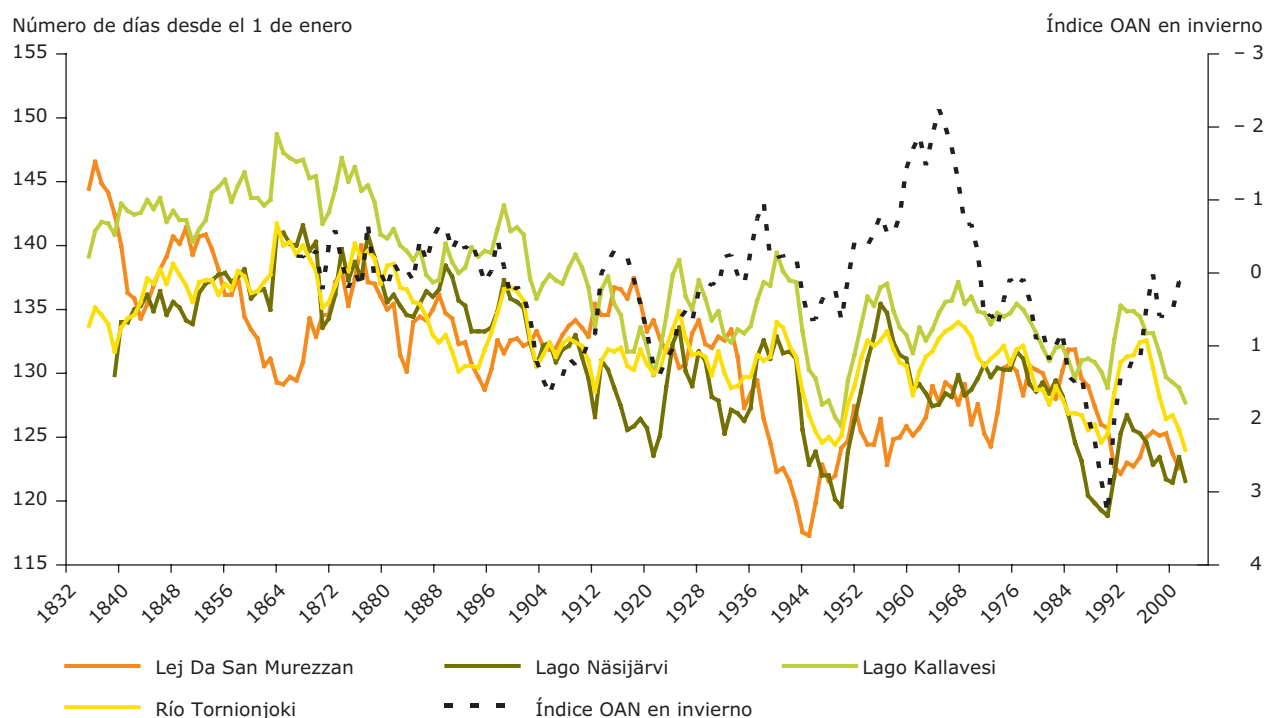
La temperatura del agua está estrechamente vinculada a la del aire, por lo que el aumento pronosticado de esta última por el cambio climático se reflejará en un aumento de la temperatura del agua superficial, algo que habrá que sumar a los cambios térmicos causados por otros factores, como los derivados del vertido de aguas de refrigeración. El aumento previsto de la temperatura del agua superficial suele ser entre el 50 y el 70% del previsto para la temperatura del aire. En consonancia con el aumento previsto de la temperatura del aire (véase la sección 5.2.2), la temperatura del agua superficial de los lagos podría ser unos 2°C más alta para 2070, pero con una clara dependencia estacional y en función de las propiedades de los lagos (Malmaeus *et al.*, 2006; George *et al.*, 2007).

5.6.3 La cubierta de hielo de los ríos y los lagos

Mensajes clave

- La duración de la cubierta de hielo en el hemisferio norte se ha reducido a razón de 12 días por siglo como resultado de un retraso medio de la cubierta de hielo de 5,7 días y de un adelanto de la rotura del hielo de 6,3 días.
- En Europa septentrional, las tendencias más marcadas se observan en el momento de la rotura del hielo, coherente con la aceleración del calentamiento durante el invierno y la primavera.
- La cubierta de hielo de los lagos, que tienen una temperatura media invernal próxima a los cero grados, depende en mucha mayor medida del cambio de la temperatura que lo que ocurre en los lagos situados en regiones más frías, como la zona septentrional de Escandinavia.

Figura 5.28 Fechas de la rotura del hielo en una serie de lagos y ríos europeos (1835–2006) e índice de la Oscilación del Atlántico Norte (OAN) durante los inviernos 1864–2006



Nota: Datos ajustados con una media móvil de 7 años. Véase el recuadro 5.1 «Pautas de la circulación atmosférica en Europa».

Fuente: Benson y Magnuson 2000 (versión actualizada en 2006 por J. Korhonen, Instituto de Medio Ambiente de Finlandia (SYKE) y D. Livingstone, Departamento de Recursos Hídricos, Instituto Federal de Ciencias Ambientales y Tecnología de Suiza (EAWAG)).

Relevancia

Para que aparezca hielo sobre lagos y ríos es necesario que transcurran largos períodos en los que la temperatura del aire se sitúe por debajo de 0°C. Cuanto más profundo sea el lago, más difícil será enfriarlo y formarse hielo de esta forma. El aumento de las temperaturas afectará a la duración de la cubierta de hielo, a su grosor y a las fechas de congelación y de deshielo.

Los cambios producidos en la cubierta de hielo son de vital importancia ecológica para los lagos, pues afectan a los niveles de luz subacuáticos (Leppäranta *et al.*, 2003), al reciclaje de nutrientes (Järvinen *et al.*, 2002) y a los niveles de oxígeno (Stewart, 1976; Livingstone, 1993), que influyen en la producción y en la biodiversidad del fitoplancton (Rodhe, 1955; Phillips y Fawley, 2002; Weyhenmeyer *et al.*, 1999), así como para la muerte de los peces invernales (Greenbank, 1945; Barica y Mathias, 1979). Una menor cantidad de hielo se traduce, en algunos casos, en un menor número de peces muertos.

Los cambios producidos en el hielo lacustre y fluvial podrían afectar al transporte humano invernal (puentes y oleoductos) y a actividades como los deportes invernales, aunque no se dispone aún de datos cuantitativos sobre estos efectos (IPCC, 2007). En Europa existen indicios de una reducción de las inundaciones causadas por las barreras de hielo debido a la reducción de la congelación del agua dulce durante el siglo pasado (Svensson *et al.*, 2006).

Tendencias anteriores

Un análisis de registros de hielo de larga duración (más de 150 años) de lagos y ríos del hemisferio norte realizado por Magnuson *et al.* (2000) señalaba que durante un período de 100 años, la cubierta de hielo se ha retrasado una media de $5,7 \pm 2,4$ días (intervalo de confianza de $\pm 95\%$), mientras que la rotura del hielo se ha adelantado una media de $6,3 \pm 1,6$ días, lo que se traduce en un descenso global de la duración de la cubierta de hielo a razón de 12 días cada 100 años. Estos resultados no parecen variar en función de la latitud ni entre América del Norte o Eurasia, ni tampoco entre ríos o lagos.

Los cambios en los parámetros del hielo muestran mayormente tendencias que concuerdan con el aumento observado de la temperatura local. La temperatura del aire parece la variable clave que determina el momento de la rotura del hielo (Palecki y Barry, 1986; Livingstone, 1997).

Unas cuantas series cronológicas de mayor duración señalan una reducción de la cubierta de hielo (una tendencia del calentamiento) que se remonta al siglo XVI, creciendo el ritmo de los cambios después de 1850 aproximadamente (véase la figura 5.28). La tendencia temprana y descendente a largo plazo de las fechas de la rotura del hielo es el resultado del final de la Pequeña Edad de Hielo, que abarcó desde 1400 hasta 1900 (Kerr, 1999). En el siglo XX, los efectos de la Oscilación del Atlántico Norte sobre el régimen del hielo de las aguas continentales europeas parecen ser más intensos que los efectos del aumento de las temperaturas.



Fotografía:

© Agencia Europea de Medio Ambiente

Franssen y Scherrer (2008) estudiaron datos de 11 lagos suizos durante el siglo pasado y descubrieron que la cubierta de hielo experimentó una importante reducción durante los últimos 40 años, sobre todo en las dos últimas décadas.

La cubierta de hielo de los lagos de la zona meridional de Suecia es más sensible al cambio climático que la de los septentrionales, donde la temperatura media invernal suele ser inferior a cero grados durante la mayor parte del invierno. Un estudio de 196 lagos suecos distribuidos a lo largo de un gradiente de temperatura latitudinal reveló que un aumento de 1°C en la temperatura del aire habría causado un adelanto de la rotura del hielo de hasta 35 días en las regiones meridionales más cálidas de Suecia, con unas temperaturas medias del aire de unos 7°C , pero causó un adelanto de la rotura del hielo de tan sólo 5 días aproximadamente en las regiones septentrionales más frías de Suecia donde las temperaturas medias del aire rondan los -2°C (Weyhenmeyer *et al.*, 2004; Weyhenmeyer, 2007). En Finlandia, la rotura del hielo también se ha adelantado considerablemente desde finales del siglo XIX hasta la actualidad, salvo en la zona más septentrional (Korhonen, 2006).

Proyecciones

Es probable que los futuros aumentos de la temperatura del aire asociados al cambio climático causen una reducción general de los períodos de la cubierta de hielo de ríos y lagos. La reducción más rápida de la duración de la cubierta de hielo se producirá en la región templada donde la estación del hielo ya es breve o sólo tenga lugar durante los inviernos fríos (Weyhenmeyer *et al.*, 2004). Como resultado, es posible que algunos de los lagos que ahora se congelan en invierno y en los que se produce una mezcla descendente durante dos períodos de mezcla al año (lagos dimícticos) se transformen en lagos monomícticos (de una sola mezcla) de aguas libres, lo que repercutirá en la mezcla vertical, la oxigenación de aguas profundas, el reciclaje de nutrientes y la productividad de las algas, pudiendo todo ello alterar el estado ecológico de los lagos normalmente cubiertos de hielo de las regiones templadas.

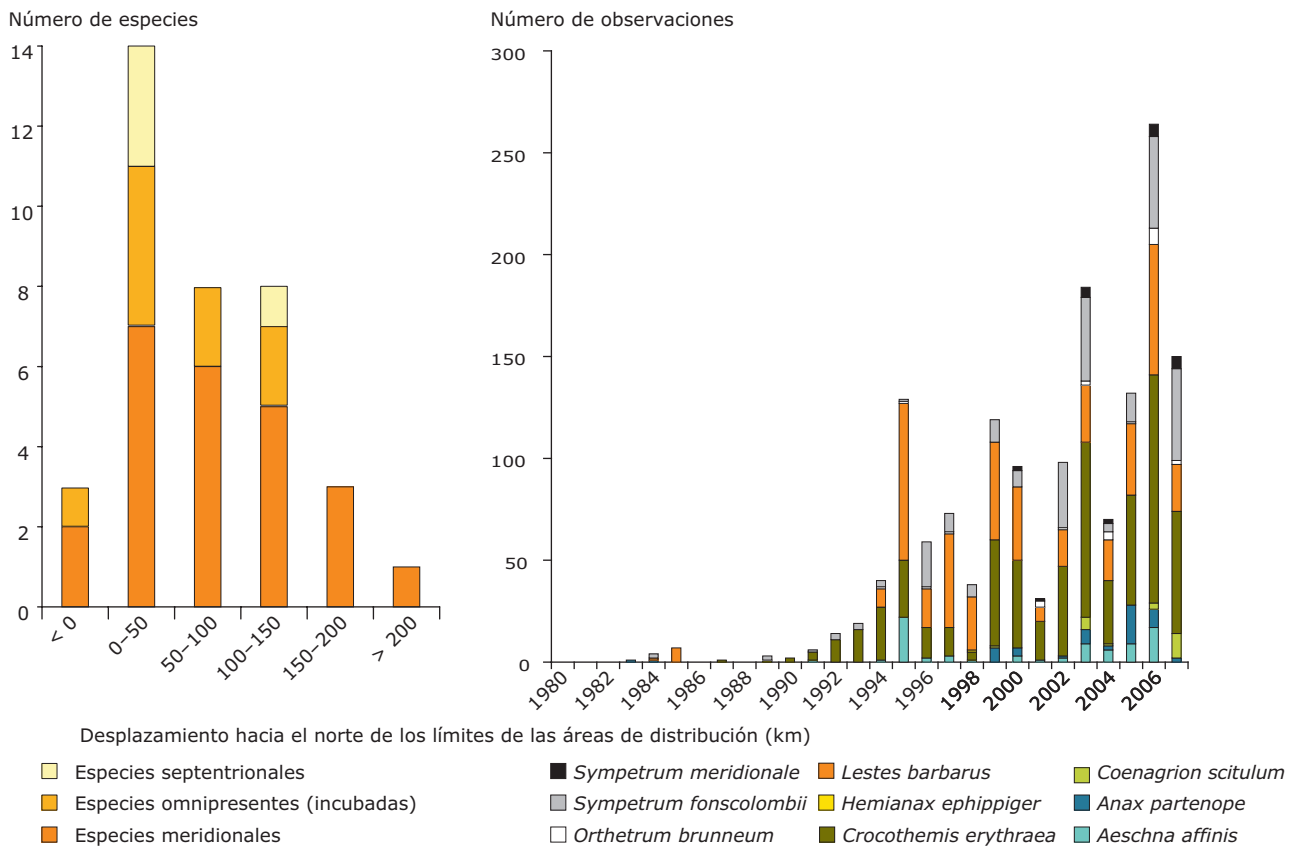
Las proyecciones de modelos climáticos regionales correspondientes al norte de Alemania y basadas en los escenarios climáticos del IE-EE del IPCC A2 de alto nivel de emisiones y B2 de nivel intermedio, apuntan a que en el lago Müggelsee berlinés, el porcentaje de inviernos sin hielo aumentará del 2% actual a más del 60% a finales de este siglo (Livingstone y Adrian, presentado). Por el contrario, es probable que el aumento de la temperatura media anual del aire repercuta mucho menos en los lagos situados en regiones muy frías (por ejemplo al norte de Escandinavia) hasta que se alcance también en ellas el umbral de la temperatura invernal cercana a cero grados.

5.6.4 Biodiversidad del agua dulce y calidad del agua

Mensajes clave

- Varias especies de agua dulce han desplazado sus áreas de distribución geográfica a mayores latitudes (desplazamiento hacia el norte) y altitudes en respuesta al calentamiento climático y a otros factores.
- En Europa existen ejemplos de cambios fenológicos (modificación de la cronología de los ciclos vitales), como el adelanto de la proliferación de fitoplancton en primavera, la aparición de una fase de agua clara, el primer día de vuelo y el desove de los peces.
- En varios lagos europeos, las proliferaciones de fitoplancton y zooplancton están produciéndose un mes antes que hace 30-40 años.
- El cambio climático puede afectar la proliferación de fitoplancton, favoreciendo y estabilizando en éste el predominio de cianobacterias nocivas, lo que constituye una amenaza creciente para el habitual estado ecológico de los lagos y un aumento de los riesgos para la salud, en particular cuando estos cuerpos de agua se utilizan para el abastecimiento público o para el baño. Todo ello podría contrarrestar el efecto de las medidas tomadas sobre reducción de cargas de nutrientes.

Figura 5.29 Desplazamiento hacia el norte y cambios en la presencia de una serie de especies de agua dulce



Nota: Izquierda: desplazamiento hacia el norte de los límites de los caballitos del diablo y libélulas de Gran Bretaña, entre los períodos 1960-1970 y 1985-1995. Derecha: presencia observada de libélulas del sur en Bélgica, 1980-2007.

Fuente: Hickling *et al.*, 2005 (izquierda) y Biodiversity Indicators, 2006 (derecha).

Relevancia

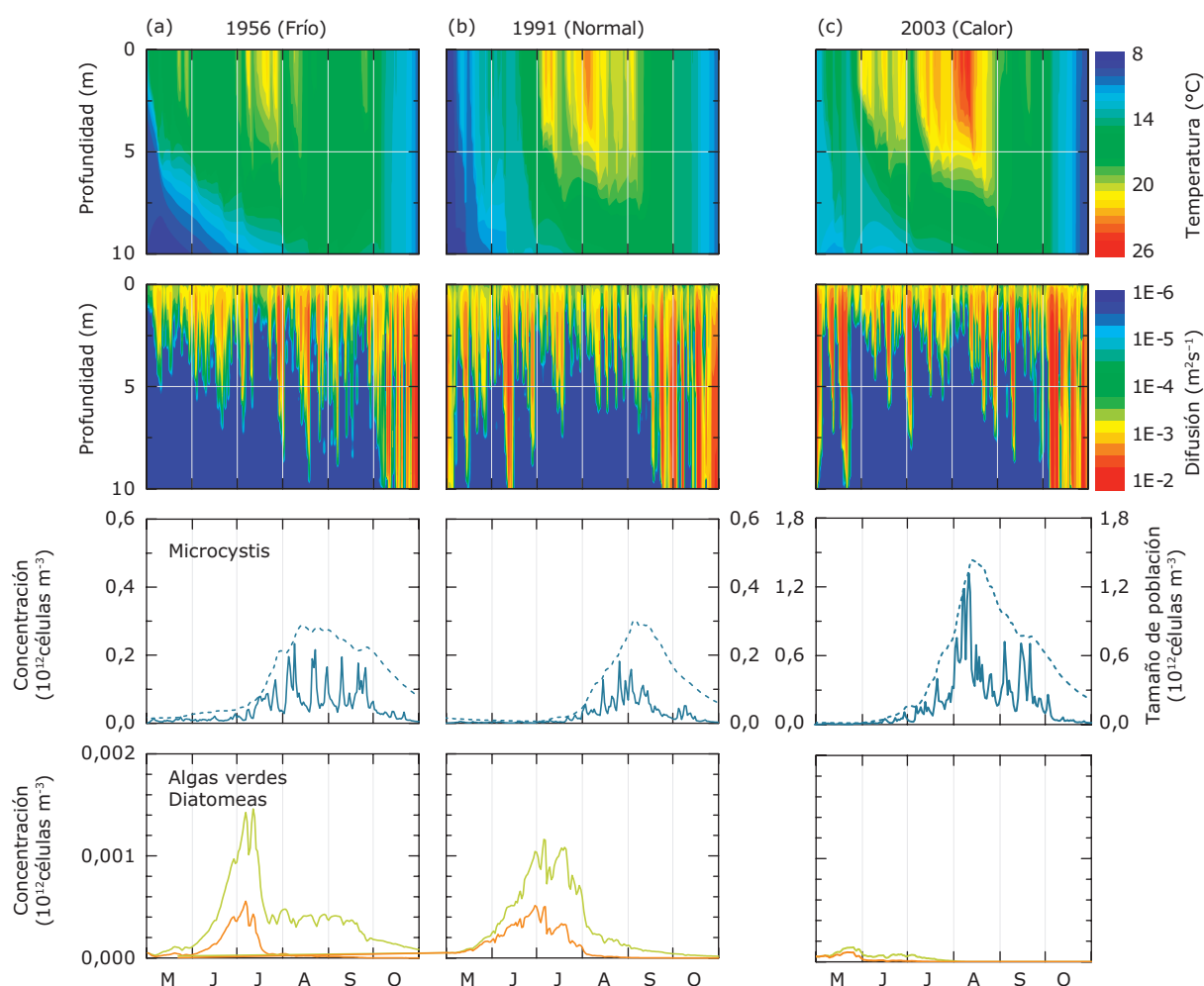
La dinámica de los hábitats y, en consecuencia, de las especies ante el cambio climático es compleja y presenta diversos aspectos. El aumento de las temperaturas y de las concentraciones de CO_2 afectará a procesos como la fotosíntesis, la respiración y la descomposición y, en términos generales, los acelerará. Los cambios inducidos por el clima en el período de cobertura de hielo, la estratificación térmica, la disponibilidad de nutrientes y la prolongación de los períodos de crecimiento afectan a la composición de las comunidades biológicas y estructura de las redes alimentarias.

La temperatura del agua constituye uno de los parámetros que determinan el estado global de los ecosistemas acuáticos. La mayoría de los organismos acuáticos (por ejemplo, los peces salmónidos) toleran

un rango específico de temperatura que determina su distribución a lo largo de un río o a escala regional. El cambio climático podría provocar la extinción de algunas especies acuáticas o, al menos, modificar su distribución en los sistemas fluviales, o desplazarla hacia el norte. Ya se han observado indicios del efecto climático en el funcionamiento y la biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce, entre ellos, el desplazamiento hacia el norte, los cambios fenológicos y la presencia de especies exóticas invasoras.

El aumento de las proliferaciones de algas nocivas en lagos a causa del cambio climático podría contrarrestar las medidas tomadas sobre reducción de la carga de nutrientes y obligaría a una revisión de los sistemas de clasificación para la evaluación del estado ecológico. Es probable que haya que incorporar medidas adicionales de reducción de esa carga a los planes de gestión de las

Figura 5.30 Simulación con modelos de hidrodinámica-dinámica del fitoplancton de tres veranos distintos en el lago Nieuwe Meer (Países Bajos)



Nota: (a) El frío verano de 1956, (b) el verano típico de 1991 y (c) el cálido verano de 2003. Los paneles superiores muestran los diagramas de contorno de la temperatura. La segunda fila muestra los diagramas de contorno de las difusiones turbulentas. La tercera fila muestra las concentraciones de Microcystis (líneas continuas) en superficie y el tamaño de su población integrada en las zonas profundas (líneas discontinuas). La cuarta fila muestra las concentraciones en superficie de diatomeas (líneas naranjas) y de algas verdes (líneas verdes). Obsérvese la diferencia de escala entre las concentraciones de Microcystis (tercera fila) y las de diatomeas y algas verdes (cuarta fila).

Fuente: Jöhnk *et al.*, 2008.

cuencas fluviales para obtener el estado ecológico que exige la Directiva marco sobre el agua. La salud pública podría verse amenazada y podría reducirse el uso de los lagos para la extracción de agua potable y para actividades de ocio.

Tendencias anteriores

Desplazamiento en latitud y en altitud

En Europa existen ejemplos de especies acuáticas (la libélula y la trucha marina) que han desplazado sus áreas de distribución geográfica a mayores latitudes, moviéndose hacia el norte, y hacia altitudes superiores a las habituales en probable respuesta al calentamiento climático. Los peces termófilos y taxones de invertebrados sustituirán, hasta cierto punto, a los de aguas frías. Cabe citar como ejemplo a la trucha común de los ríos alpinos (Hari *et al.*, 2006), el caballito del diablo y la libélula británica, no migratorios de Gran Bretaña (Hickling *et al.*, 2005; figura 5.29 izquierda), así como las libélulas del sur de Europa en Bélgica (Biodiversity Indicators, 2006, véase la figura 5.29 derecha) y la sección 5.7.4 «Distribución de las especies animales».

Cambios en la composición de las comunidades biológicas

El cambio climático tendrá, en términos generales, un efecto similar al de la eutrofización (por ejemplo, Schindler, 2001), con un aumento de las proliferaciones de fitoplancton (Wilhelm y Adrian, 2008) y un mayor predominio de cianobacterias en las comunidades planctónicas, con el consiguiente efecto creciente de las cianobacterias nocivas y el aumento de los riesgos para la salud, en particular cuando los cuerpos de agua se utilizan para el abastecimiento público o para el baño (Jöhnk *et al.*, 2008; Mooij *et al.*, 2005). También se espera que el aumento en la frecuencia de los fenómenos de escorrentía y precipitación extrema aumente la carga de nutrientes de las aguas, produciéndose así mayor eutrofización.

Los cambios de temperatura ya han repercutido profundamente en la composición de las comunidades de macrozoobento (fauna que pasa la mayor parte de su ciclo vital enterrada en sedimentos) de los lagos de Europa septentrional (Burgmer *et al.*, 2007). Las comunidades de peces e invertebrados de la rivera alta del Ródano (Francia) responden al aumento de la temperatura del agua (Daufresne *et al.*, 2004, 2007).

Cambios fenológicos

Los cambios en el período de crecimiento, el adelanto de la rotura del hielo o los períodos por encima de una determinada temperatura alterarán los ciclos vitales, valga como ejemplo el adelanto de la proliferación de fitoplancton en primavera, la aparición de una fase de 'agua clara' (debido al adelanto de la aparición de grandes cantidades de fitoplancton), el primer día de vuelo de los insectos acuáticos o el momento de desove de los peces. La prolongación del período de crecimiento

puede tener serias consecuencias para el tamaño de las poblaciones, con un número cada vez mayor de divisiones celulares o de generaciones al año. En varios lagos europeos, la proliferación de fitoplancton y de zooplancton se produce actualmente con un mes de antelación respecto a hace 30-40 años (Weyhenmeyer 1999; 2001; Adrian *et al.*, 2006; Nöges *et al.*, en prensa). Manca *et al.* (2007) detectaron que el aumento de la temperatura del lago Mayor (Italia) coincide con un adelanto y una prolongación de las proliferaciones de zooplancton. Hassall *et al.* (2007) detectaron que las especies de odonatos de Gran Bretaña cambiaron su primer día de vuelo a razón de 1,5 días por década durante el período 1960-2004.

Especies invasoras de agua dulce

Se prevé que el cambio climático origine invasiones biológicas de especies originarias de regiones más cálidas. Por ejemplo, la cianobacteria filamentosa subtropical altamente nociva, *Cylindrospermopsis raciborskii*, se desarrolla en aguas calientes de columna estable y altas concentraciones de nutrientes. Recientemente se ha extendido con rapidez por regiones templadas, siendo ahora común encontrarla en toda Europa (Dyble *et al.*, 2002). Su extensión hacia puntos de abastecimiento de agua potable y para fines recreativos es motivo de preocupación internacional en materia de salud pública dada su producción potencial de toxinas. Las especies de peces adaptadas a aguas más cálidas, como la carpa, podrían sustituir a especies nativas como la perca y la trucha en numerosas regiones (Kolar y Lodge, 2000).

Proyecciones

Se prevé que un gran número de especies desplacen sus áreas de distribución geográfica a mayores latitudes y altitudes en respuesta al calentamiento climático. Las especies del sur se desplazarán más hacia el norte y las de regiones más frías hacia el norte y a mayores altitudes, o bien desaparecerán cuando tengan problemas para migrar (debido, por ejemplo, a la 'fragmentación' de sus hábitats). Algunas especies árticas y alpinas podrían desaparecer.

- Varias investigaciones recientes (Findlay *et al.*, 2005; Wilhelm y Adrian, 2008; Jöhnk *et al.*, 2008; Battarbee *et al.*, 2008; Willén y Cronberg, com. pers.) respaldan la posibilidad de una mayor eutrofización con el aumento de las proliferaciones de algas, incluyendo también nuevos invasores nocivos como *Cylindrospermopsis* y *Gonyostomum*, particularmente en zonas de Europa expuestas a lluvias intensas que puedan causar un aumento de la carga de nutrientes y una reducción de la luz subacuática de los lagos.
- Una comparación de una importante serie de lagos daneses poco profundos con otros equiparables de clima más frío de Canadá (Jackson *et al.*, 2007) sugiere que con el calentamiento descenderán las muertes invernales de peces y aumentará la

hibernación exitosa de peces planctívoros, lo que, a su vez, afectará la relación *Daphnia*/zooplacton. El resultado del descenso de la presión de consumo de zooplankton, será la acumulación de biomasa fitoplanctónica en relación con el fósforo total en los climas más cálidos.

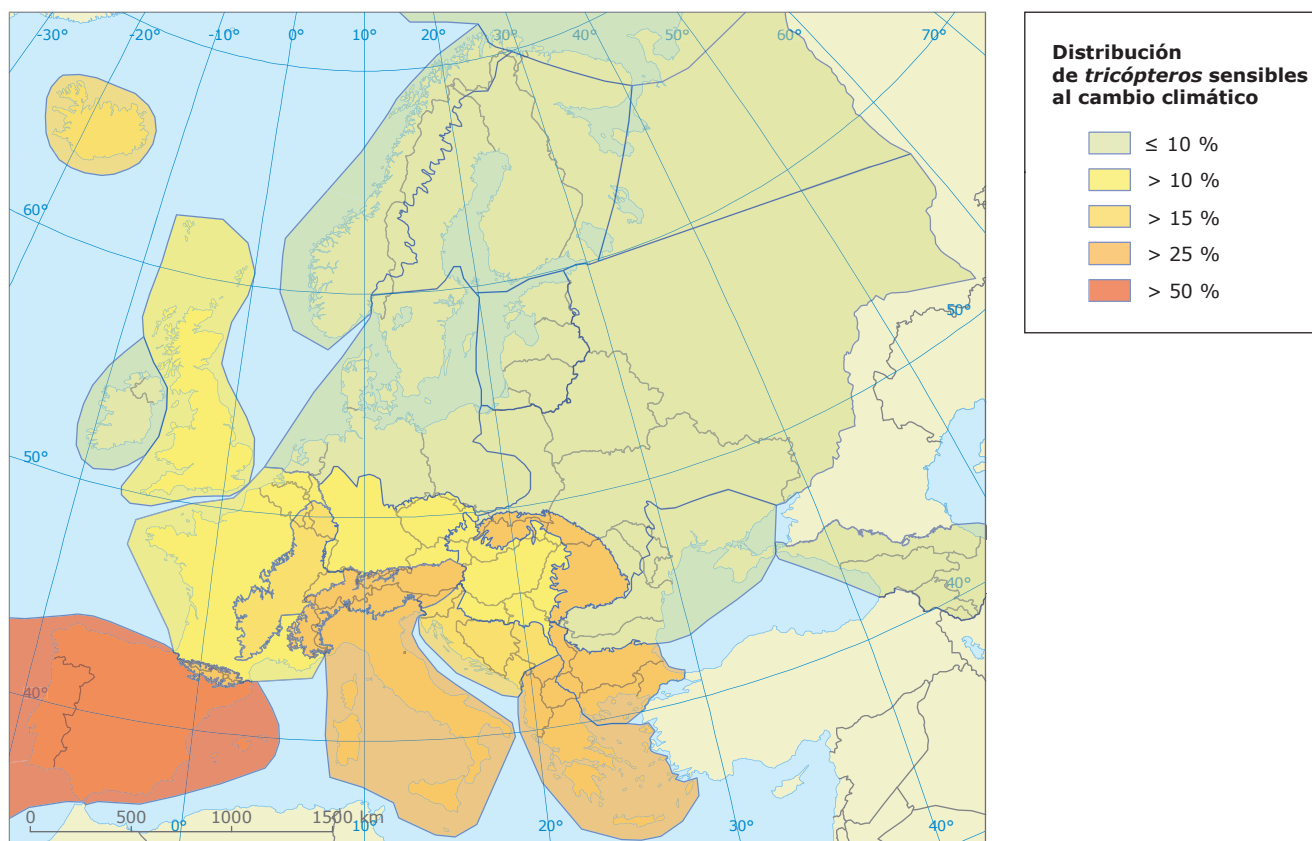
- Si el caudal de los ríos desciende estacionalmente, tendrá un efecto negativo sobre el salmón del Atlántico. Walsh y Kilsby (2006) vieron que el salmón de la zona noroccidental de Inglaterra se vería perjudicado por el cambio climático al reducir el número de días con profundidades de cauce adecuadas para el momento de desove.
- En el proyecto europeo de investigación en curso, 'Euro-limpacs', se ha hecho una evaluación de la sensibilidad de los tricópteros al cambio climático (véase el mapa 5.29). Los resultados señalan una previsión de que más del 20% de las especies de estos insectos se vean en peligro de extinción a causa del cambio climático en Europa meridional (sequías)



Fotografía: © Jeroen van Wichelen, Universidad de Gante

y en la región Alpina (temperaturas excesivamente altas). Los efectos en otras zonas de Europa serán menos pronunciados (Hering *et al.*, 2006).

Mapa 5.29 Índice de tricópteros sensibles al cambio climático en las ecorregiones europeas



Nota: Los tricópteros son insectos de distribución restringida («especies endémicas»), que habitan en manantiales y lechos fluviales y que no pueden desplazarse aguas arriba. Están adaptados a aguas de bajas temperaturas (estenotermia de aguas frías) en las ecorregiones europeas. Hay un gradiente distinto entre la zona meridional-occidental y la septentrional-oriental: en la segunda ecorregión, la proporción de taxones sensibles es inferior al 10%, frente al 51,7% de la meridional-occidental (Península Ibérica) o el 42,3% (Italia). En las regiones balcánicas y en las sierras altas (Alpes, Pirineos y Cárpatos), la proporción es superior al 25%.

Fuente: Hering *et al.*, 2006.

5.7 Ecosistemas terrestres y biodiversidad

5.7.1 Introducción

El cambio climático influye decisivamente en la distribución y funcionamiento de los sistemas naturales (Parmesan y Yohe, 2003). La biodiversidad de Europa (que viene a representar sus especies, hábitats y ecosistemas) ha estado sometida a reiteradas modificaciones durante los períodos glacial e interglacial previo, recolonizando el continente, tras los períodos de ambientes extremos, algunas especies remanentes en ‘refugios’. En la actualidad se reconoce que los ecosistemas prestan ‘servicios’ a la humanidad como el ciclo de nutrientes, la regulación natural de las poblaciones de ciertos parásitos, la polinización, la calidad de vida humana o la regulación hidrológica, atmosférica y climática (Díaz *et al.*, 2006; IPCC, 2007). El empobrecimiento de la biodiversidad en Europa podría repercutir en estos servicios con unas consecuencias potencialmente graves (Lovejoy y Hannah, 2005). El mantenimiento y mejora de unos ecosistemas ‘sanos’ son un aspecto importante de las acciones de adaptación y mitigación del cambio climático.

Alrededor del 60% de los tipos reconocidos de ecosistemas que funcionan en el mundo son actualmente objeto de un uso humano insostenible (Reid *et al.*, 2005). Se acepta que también en Europa la biodiversidad está seriamente afectada y ocurre en buena parte por los cambios de uso y gestión del suelo. Algunos de éstos están provocando una seria alteración de los hábitats seminaturales, deficiencias en la gestión forestal y agrícola tradicionales y suponen un abandono rural formidable. La urbanización, la industrialización, la modificación de ríos y cursos de agua, la fragmentación de hábitats por infraestructuras y la creciente presión de los visitantes de espacios naturales protegidos con fines turísticos y de recreación también afectan a la biodiversidad (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

El cambio climático podría agravar las pérdidas de biodiversidad. Las proyecciones indican que entre una tercera y una quinta parte de las especies europeas podrían encontrarse amenazadas y con riesgo creciente de extinción si la temperatura en el mundo aumenta entre 2 y 3°C por encima de los niveles preindustriales (Lovejoy y Hannah, 2005; IPCC, 2007). La combinación del cambio climático y de los factores mencionados anteriormente limitará la capacidad de adaptación y de recuperación o resiliencia de muchas especies. Esto probablemente se plasmará en el funcionamiento de los ecosistemas y el aspecto de los paisajes de toda Europa. Es probable que se extingan especies a escala local y regional (McKinney y Lockwood, 1999). Entre las especies más amenazadas cabe citar a las más especialistas, las situadas en niveles tróficos superiores, las afectadas por restricciones latitudinales y altitudinales y las que presentan capacidades de dispersión limitadas.

La Comisión Europea está abordando la afección observada y prevista de la biodiversidad y sus consecuencias para el bienestar humano en el marco de su objetivo de «frenar la pérdida de biodiversidad a partir de 2010». Parte de este objetivo es reducir los efectos de otros factores impulsores del cambio y mejorar la capacidad de las especies para acomodarse y adaptarse al cambio climático (IPCC, 2007). Se precisarán nuevos espacios protegidos y medidas para mejorar la conectividad biológica, facilitando el desplazamiento de especies en paisajes fragmentados. En este sentido, deberá reforzarse la solidez de la red ecológica europea Natura 2000, incluida una aplicación más generalizada del artículo 10 de la Directiva sobre hábitats, relativo a la coherencia de la red.

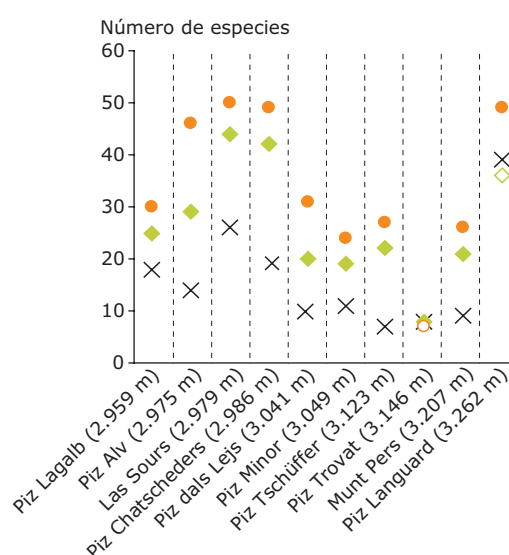
En esta sección se abordan los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad, refiriéndose cambios observados y previstos en la distribución y fenología (alteraciones de los fenómenos estacionales) de plantas y animales y de sus comunidades.

5.7.2 La distribución de las especies vegetales

Mensajes clave

- El cambio climático, y en concreto los inviernos más suaves, es responsable de los cambios de distribución hacia el norte y hacia cotas más altas observados en numerosas especies vegetales europeas. Los ecosistemas de montaña están variando en muchas zonas de Europa debido a que las especies precursoras se expanden hacia cotas más altas y las especies adaptadas al frío se ven expulsadas de sus hábitats.
- Para finales del siglo XXI está previsto que la distribución de las especies vegetales europeas se haya desplazado varios cientos de kilómetros hacia el norte; es probable que la superficie boscosa aparezca contraída en el sur y se haya expandido en el norte y el 60% de las especies vegetales de montaña estarían expuestas a riesgos de extinción.
- El ritmo del cambio será superior a la capacidad de adaptación de numerosas especies, habida cuenta, especialmente, por que la fragmentación paisajística podría limitar el desplazamiento.

Figura 5.31 Aumento de la riqueza de especies en las cumbres montañosas de los Alpes suizos en el siglo XX



Nota: Las especies endémicas adaptadas al frío están en declive porque las especies foráneas colonizadoras las expulsan de sus nichos a causa del calentamiento. x: decenio de 1900; ◊: decenio de 1980; •: 2003; los símbolos abiertos representan un descenso (temporal) del número de especies (Piz Trovat, Piz Languard).

Fuente: Walther *et al.*, 2005.

Relevancia

El ritmo del cambio climático podría superar la capacidad de adaptación de algunas especies vegetales silvestres (IPCC, 2007) y beneficiar a otras (Sobrino Vesperinas *et al.*, 2001). En consecuencia, la composición de numerosas comunidades vegetales está variando y están apareciendo asociaciones completamente inéditas. Además, la distribución de las plantas y la creciente amenaza de extinción de las situadas al borde de sus ámbitos geográficos y altitudinales registran un cambio paralelo, en especial las especies endémicas de dispersión limitada. No es posible discernir con claridad en todos los casos las implicaciones ecológicas de estos cambios y

sus efectos sobre los servicios que prestan los ecosistemas. Junto a la aparición de especies invasoras, estos factores llevarán aparejados problemas para la conservación de la biodiversidad como había venido entendiéndose hasta ahora (Gitay *et al.*, 2002) y para cumplir el objetivo europeo de 'frenar la pérdida de biodiversidad'. El estado y la conservación de los lugares de la red Natura 2000 suponen también un problema serio en este sentido.

La capacidad de adaptación de las especies guarda relación con la plasticidad genética, que también podría variar a causa del cambio climático; las valiosas y sensibles poblaciones relictas se verán especialmente afectadas.

Tendencias pasadas

El calentamiento de los últimos 30 años ha afectado considerablemente a las pautas estacionales de toda Europa. Como ocurrió durante los períodos glacial e interglacial, la respuesta predominante entre las especies vegetales sensibles a la temperatura, en términos de adaptación, ha sido un cambio de distribución, con desplazamientos latitudinales y altitudinales. El acebo (*Ilex aquifolium*), es una de las especies característicamente limitadas por el clima que se ha expandido hacia el sur de Escandinavia de manera coherente y sincronizada con los cambios climáticos registrados a escala regional, vinculados, especialmente, al aumento de la temperatura invernal (Walther *et al.*, 2005).

Los ecosistemas y comunidades biológicas de montaña son especialmente vulnerables al cambio climático (IPCC, 2007). Desde la Pequeña Edad de Hielo del siglo XVIII se ha observado un aumento general de las especies que habitan las cumbres montañosas europeas. En Suiza, por ejemplo, el desplazamiento hacia cotas más altas de las plantas alpinas tendió a acelerarse hacia finales del siglo XX, una tendencia probablemente vinculada a las condiciones extraordinariamente cálidas de la década de los noventa (Walther *et al.*, 2005) (figura 5.31).

También hay pruebas de un freno en la reducción de las especies adaptadas al frío debido a que el calentamiento

y las especies precursoras obligaron a muchas especies a abandonar sus nichos. Los actuales programas europeos de vigilancia (por ejemplo, GLORIA), a cuyos resultados se accede desde 2008, pueden proporcionar observaciones similares. En los Escandes suecos, el límite de vegetación arbórea del pino silvestre (*Pinus sylvestris*) aumentó 150 - 200 metros debido a que los inviernos más cálidos redujeron considerablemente la mortalidad y aumentaron el ritmo de establecimiento. En otros continentes la migración del límite de vegetación arbórea hacia cotas más altas es un fenómeno universal que podría llegar a convertirse en una gran amenaza para la actual biodiversidad de alta montaña (Kullman, 2006; 2007; Pauli *et al.*, 2007).

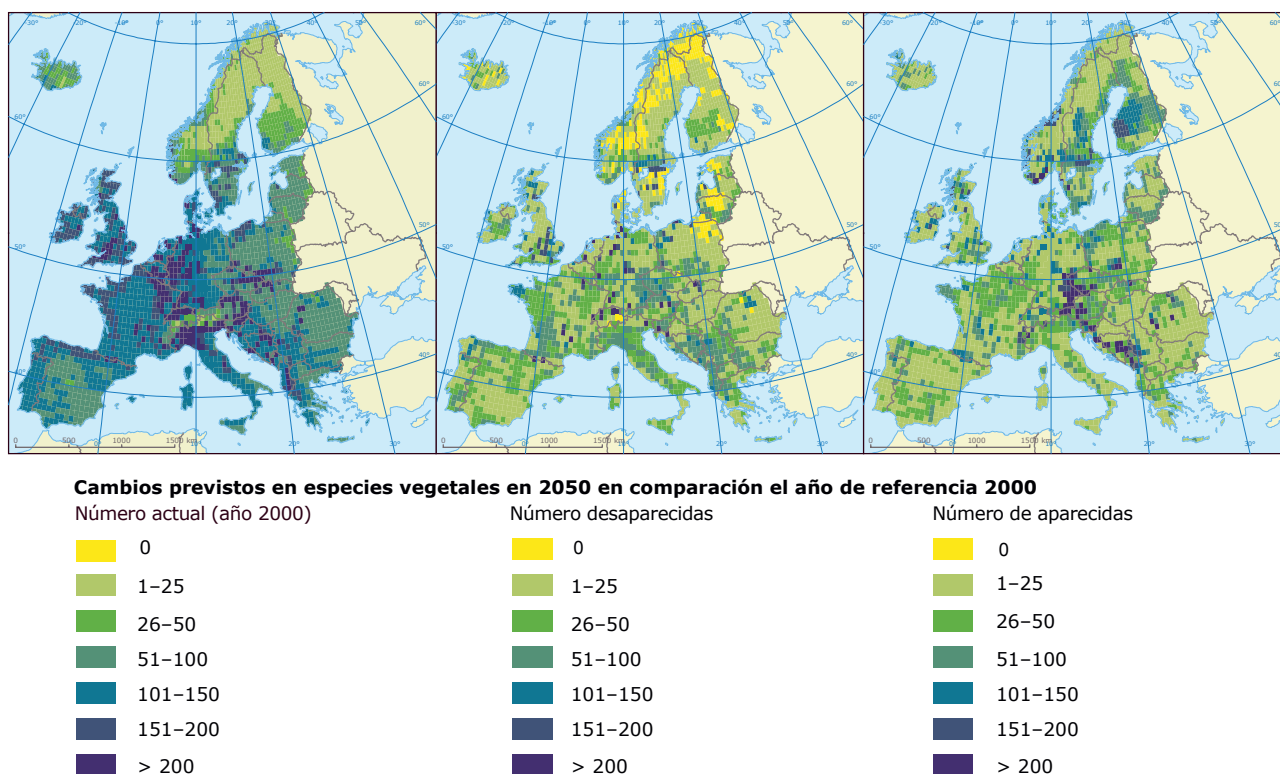
Proyecciones

Para finales del siglo XXI, el ámbito potencial de numerosas especies vegetales podría haberse desplazado varios cientos de kilómetros hacia el norte, es decir, a un ritmo mucho más rápido que en el pasado si se toma como referencia el registro del Cuaternario o datos históricos (Huntley, 2007). También cabe prever una considerable variación en la distribución de las especies arbóreas, que se traduciría en una expansión de los bosque en el norte y una contracción en el sur, así como una sustitución de las especies nativas de coníferas por frondosas en Europa occidental y central (IPCC, 2007).

La modelización de las distribuciones en el siglo XXI de 1.350 especies vegetales europeas, realizada con un amplio espectro de escenarios, señala que más de la mitad de éstas alcanzarán su límite altitudinal, podrían encontrarse amenazadas en 2080 y sujetas a un elevado riesgo de extinción (Thuiller *et al.*, 2005). Se prevé que las especies que experimenten cambios más profundos sean las endémicas del Mediterráneo, la zona euro-siberiana y numerosas regiones montañosas. Las comunidades montañosas podrían verse expuestas a la pérdida de hasta el 60% de sus especies vegetales en el marco hipotético de un alto nivel de emisiones, invirtiéndose la tendencia correspondiente al siglo XX mencionada antes (Thuiller *et al.*, 2005; IPCC, 2007).

Bakkenes *et al.* (2006) tuvieron resultados similares modelizando zonas estables de distribución de plantas para el presente siglo bajo marcos hipotéticos de cambio climático diferentes (mapa 5.30). Su estudio indica que de no mitigarse el cambio climático, para 2100 es previsible que entre el 10 y el 50% de las especies vegetales de los países europeos desaparezcan de sus ubicaciones actuales. Una vez más, las especies de Europa suroccidental y suroccidental serían las más afectadas. La cifra aumentará de restringirse la migración a causa de la constante fragmentación de hábitats o si surgen relaciones de competencia y segregación con especies invasoras.

Mapa 5.30 Cambios previstos en el número de especies vegetales en 2050



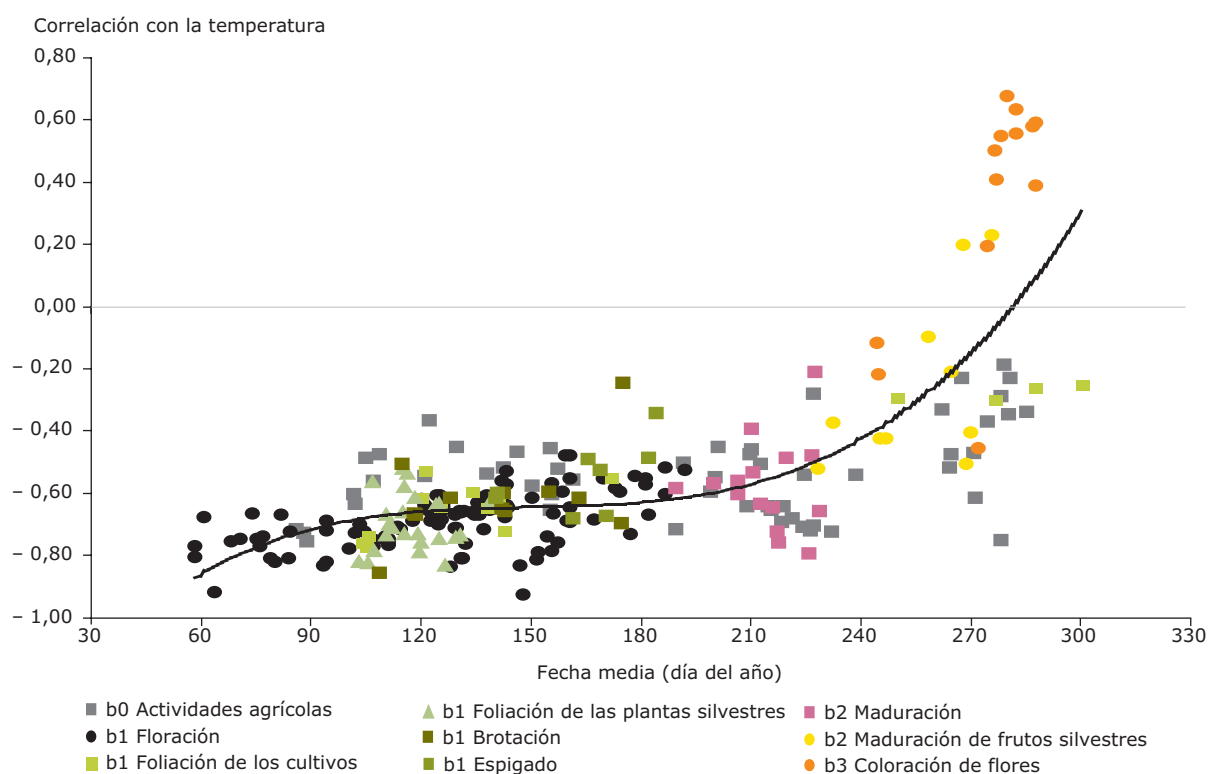
Nota: Resultados por zona estable por celdilla con el modelo EuroMove y el escenario climático HadCM2 A2.

Fuente: Basado en Bakkenes *et al.*, 2006.

5.7.3 Fenología vegetal

Mensajes clave

- La secuencia cronológica de fenómenos estacionales que afectan a las plantas está cambiando en toda Europa a causa, principalmente, de los cambios en las condiciones climáticas; el 78% de los registros de foliación y floración muestran tendencias a adelantarse y sólo el 3% muestra un retraso considerable. Entre 1971 y 2000, la primavera y el verano se adelantaron un promedio de 2,5 días por década.
- A consecuencia de los cambios inducidos por el clima en la fenología vegetal, la estación del polen se adelanta un promedio de 10 días y se prolonga por un espacio mayor que hace 50 años.
- Los fenómenos estacionales tenderán a seguir adelantándose a medida que aumente el calentamiento climático durante los próximos años y décadas.

Figura 5.32 Sensibilidad fenológica a los cambios de temperatura

Nota: En un estudio de 254 registros nacionales distribuidos entre nueve países, la mayor parte de los cambios fenológicos guardaron una relación muy significativa con las temperaturas medias mensuales de los dos meses anteriores. Cuanto más se adelantaba un fenómeno primaveral, más intenso era el efecto de la temperatura.

Los países incluidos fueron los siguientes: Alemania, Austria, Bielorrusia/norte de Rusia, Eslovenia, Estonia, Polonia, República Checa, Suiza, Ucrania/sur de Rusia. Entre los grupos de la fenofase se incluyeron: (b0) actividades de los agricultores, (b1) primavera y verano con distintas fases de foliación, brotación y floración, (b2) maduración de fruto en otoño y (b3) coloración otoñal de la hoja de los árboles caducifolios.

Fuente: Menzel *et al.*, 2006.

Relevancia

La fenología es el estudio de la secuencia cronológica de fenómenos estacionales como la brotación, la floración, el reposo vegetativo, la migración y la dormición. Ciertas reacciones biológicas se desencadenan principalmente a causa de la temperatura, mientras que en otros casos la respuesta depende más de la longitud

del día (Menzel *et al.*, 2006). Los cambios fenológicos guardan relación con el período vegetativo y afectan a la productividad y otros factores del funcionamiento de los ecosistemas.

La agricultura, la silvicultura, la jardinería son las actividades afectadas, así como la vida silvestre. Las épocas de cultivo, siembra y cosecha están variando, la

fruta madura precozmente porque los veranos son más cálidos (Menzel *et al.*, 2006) y es necesario segar con más frecuencia y durante mayor espacio de tiempo la hierba de los parques municipales o en los arcenes de las carreteras.

Los cambios experimentados en la floración inciden en la secuencia cronológica y la intensidad de la estación de polinización, lo que revela una tendencia a la anticipación, pues muchas especies empiezan a florecer con anterioridad. Relacionada con esto, la concentración de polen en la atmósfera está aumentando (Consejo Nórdico, 2005).



Fotografía: © Agencia Europea de Medio Ambiente

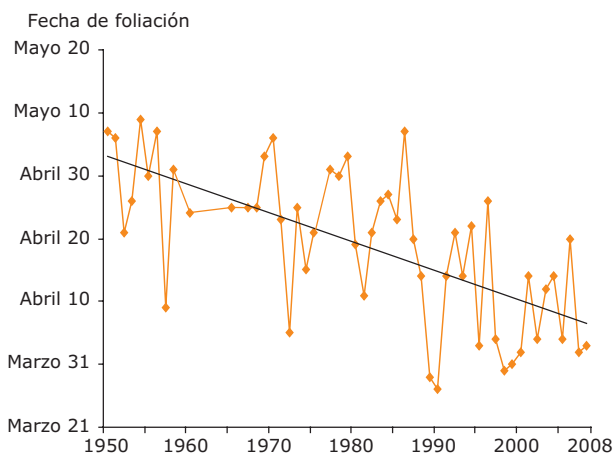
Tendencias pasadas

Hay un cambio fenológico claro en toda Europa durante las últimas décadas (Parmesan y Yohe, 2003; Root *et al.*, 2003; Menzel *et al.*, 2006) (figura 5.32). En términos generales, el clima es causante del 62% de la variabilidad observada en la datación de los ciclos vitales (van Vliet, 2008). No obstante, esta variabilidad difiere en función de los fenómenos, siendo mayor en los que se producen antes (por ejemplo, la primavera) que los que se producen después (Menzel *et al.*, 2006). Por ejemplo:

- el 78% de los registros sobre foliación, floración y maduración de fruto en toda Europa muestran una tendencia anticipatoria y sólo un 3% un retraso significativo. Los fenómenos fenológicos primaverales/estivales están adelantándose a razón de 2,5 días por década (Menzel *et al.*, 2006).

- La estación de polinización comienza actualmente, por término medio, 10 días antes y dura más que hace 50 años.
- En Gran Bretaña, la primera fecha de floración de 385 especies vegetales se adelantó 4,5 días por término medio durante la última década en comparación con las cuatro décadas anteriores (Fitter y Fitter, 2002); la foliación del roble se ha adelantado tres semanas en los últimos 50 años (DEFRA, 2007) (figura 5.33).
- En el Ártico se ha observado un adelanto acelerado de los fenómenos primaverales inducido por el clima (por ejemplo, la floración y la puesta de huevos) durante los últimos 10 años. Las intensas respuestas del funcionamiento de los ecosistemas árticos y la gran variabilidad de las especies pone de relieve la extrema facilidad con que el cambio climático puede alterar las interacciones biológicas (Høye *et al.*, 2007).

Figura 5.33 Fecha de foliación del roble (*Quercus sp*) en Surrey (Reino Unido) 1950–2008



Nota: Observaciones anuales (conectadas por líneas rectas); línea negra: promedio del cambio en la fecha de foliación (indica un anticipo).

Fuente: Nature's Calendar, Reino Unido.

Proyecciones

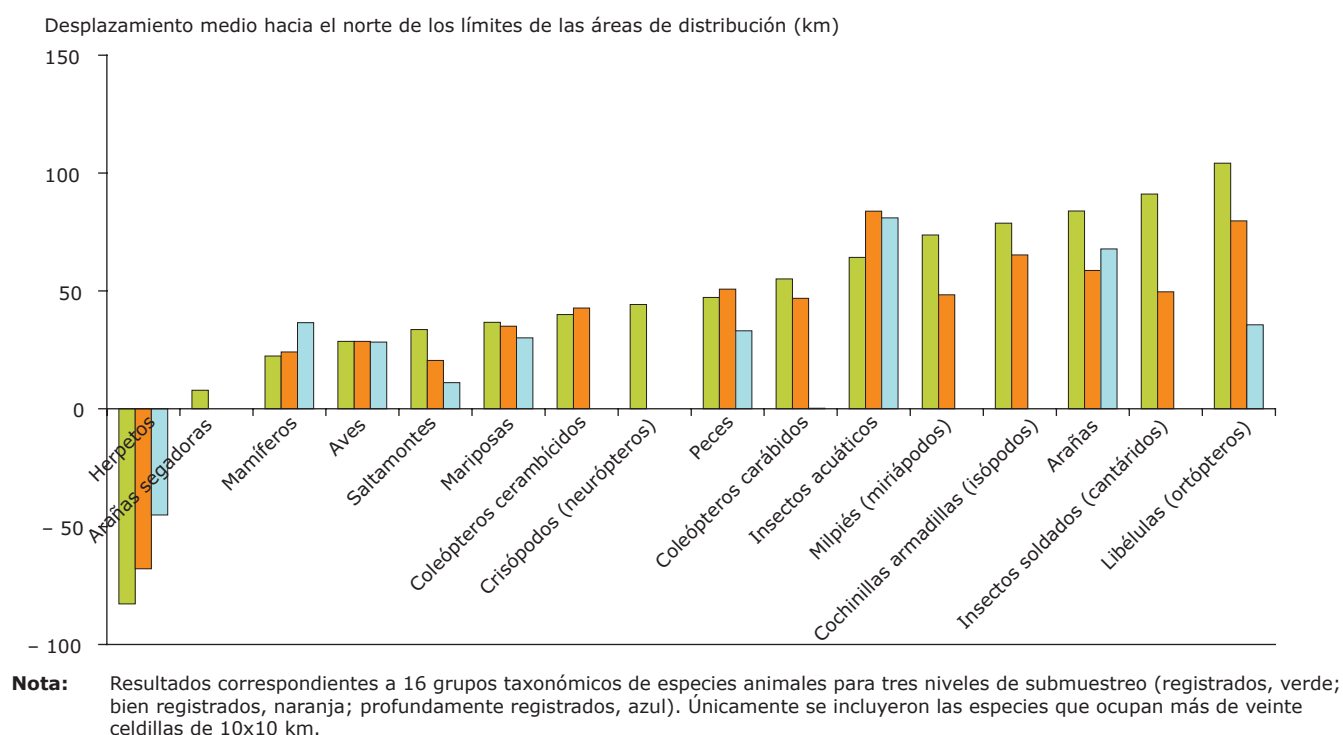
Los cambios fenológicos alterarán los periodos vegetativos, la producción biológica, las interacciones y la dinámica a nivel de comunidades (Fitter y Fitter, 2002). Las diferentes especies muestran distintas respuestas fenológicas; por ejemplo, las especies anuales y las polinizadas por insectos tienden a florecer antes que las perennes y las polinizadas por el viento (Fitter y Fitter, 2002). La investigación ecológica está evaluando estos umbrales de respuesta con el fin de entender mejor qué efectos podrían producirse a mayor escala. Aunque las tendencias anticipatorias de los fenómenos estacionales sigan tendiendo a anticiparse a medida que el calentamiento climático siga durante los años y décadas venideros, no se conoce con certeza cómo responderán las diferentes especies cuando se alcancen los umbrales de temperatura ni si en el futuro se verán relaciones lineales entre la temperatura y el periodo vegetativo.

5.7.4 Distribución de especies animales

Mensajes clave

- Aves, insectos, mamíferos y otros grupos de especies europeas están desplazándose hacia el norte y hacia cotas más elevadas, en gran parte como respuesta al cambio climático observado. Pero las alteraciones en la distribución no siguen necesariamente el mismo ritmo que el cambio climático.
- El desplazamiento de numerosas especies animales se verá complicado por la combinación de una serie de factores, como el ritmo del cambio climático, la fragmentación de los hábitats y la presencia de otros obstáculos, lo que posiblemente provocará una alteración progresiva de la biodiversidad en Europa.
- Se prevé que las pautas de distribución sigan cambiando. Las condiciones climáticas idóneas para las aves nidificantes europeas pasarán a desplazarse casi 550 km hacia el nordeste a finales de siglo, mermando el tamaño medio de las poblaciones en un 20%. Las proyecciones para 120 mamíferos originarios de Europa indican que hasta el 9% (presuponiendo que no migre ninguno) se encontrará en peligro de extinción durante el siglo XXI.

Figura 5.34 Desplazamientos latitudinales de los límites septentrionales de las áreas de distribución de varios grupos seleccionados de animales en el Reino Unido durante los últimos 40 años



Relevancia

El desplazamiento hacia el norte de las áreas de distribución de las especies animales puede tener consecuencias de muy diverso signo para la agricultura (ganado y cultivos) y para la salud humana, así como para la biodiversidad y su conservación (Sparks *et al.*, 2007). Numerosas especies animales se verán especialmente afectada por el cambio climático si la fragmentación del paisaje dificulta su desplazamiento hacia condiciones climáticas más adecuadas. Ello

influirá a su vez en la capacidad de Europa para cumplir su objetivo antes mencionado en materia de biodiversidad. Además, las condiciones más cálidas, en particular los inviernos más cálidos, están favoreciendo el establecimiento de nuevos organismos nocivos, como la oruga taladradora del maíz (*Ostrinia nubilalis*), el gusano elotero (*Heliothis armigera*), la limantria (*Lymantria dispar*) y algunas polillas y mariposas migratorias (véase la sección 5.7.5).

Los riesgos para la salud asociados a las enfermedades transmitidas por vectores están ligados a invasiones

Manto oscuro (*Heodes tityrus*)

Fotografía: © Guy Padfield, <http://www.guypadfield.com>

de especies como garrapatas y mosquitos (véase la sección 5.10).

Tendencias pasadas

Durante las últimas décadas se ha observado en Europa un desplazamiento hacia el norte y hacia cotas más altas de una amplia variedad de especies animales. Estas observaciones pueden atribuirse en parte a los cambios en las condiciones climáticas, si bien en otros casos tienen más que ver con los cambios registrados en el uso del suelo y otros cambios ambientales.

En Gran Bretaña, 275 de las 329 especies analizadas durante los últimos 25 años habían desplazado su radio de acción hacia el norte entre 31 - 60 km, 52 se habían desplazado hacia el sur y dos no se habían desplazado en absoluto (UKCIP, 2005; Hickling *et al.*, 2006) (figura 5.34). No obstante, son muchas las especies, entre ellas las mariposas, que no se desplazan con rapidez, dado el actual ritmo del cambio climático (Warren *et al.*, 2001).

El cambio climático también ha influido ya en la riqueza y composición de las comunidades de aves europeas (Lemoine *et al.*, 2007; Gregory *et al.*, 2008). Un reciente estudio de 122 aves terrestres señalaba que el cambio climático está influyendo ya en la evolución de las poblaciones en toda Europa desde el año 1985 aproximadamente siendo los efectos cada vez más intensos (figura 5.35). El estudio revelaba también que la población de 92 especies se había reducido a consecuencia del cambio climático, y que la población de 30 especies había aumentado en líneas generales (Gregory *et al.*, 2008).

En un estudio de 57 mariposas europeas no migratorias, 36 habían desplazado su radio de acción hacia el norte entre 35 y 240 km y sólo dos se habían desplazado hacia el sur (Parmesan *et al.*, 1999). El manto oscuro (*Heodes tityrus*), por ejemplo, se extendió por el

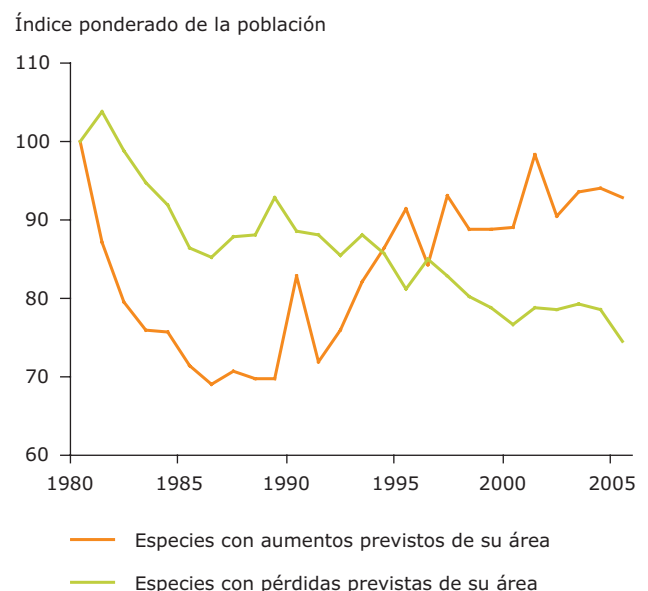
norte procedente de Cataluña y en 2006 y estableció poblaciones reproductoras en la costa báltica (Parmesan *et al.*, 1999). En España, el hábitat de dieciséis mariposas exclusivas de zonas montañosas se redujo un tercio aproximadamente en los últimos 30 años, aumentando los límites altitudinales inferiores en 212 m, por término medio, en consonancia con el aumento medio anual de la temperatura de 1,3°C (Wilson *et al.*, 2005).

En Alemania, la libélula escarlata (*Crocothemis erythraea*), antaño rara, se ha expandido desde el sur de forma simultánea a los cambios observados en el clima y actualmente se encuentra en todos los Estados federales (Ott, 2007). Asimismo, la expansión de la mariposa de coma (*Polygonia sp.*) en los Países Bajos se ha relacionado con las pautas recientes del cambio climático.

Proyecciones

En este siglo seguirá produciéndose un desplazamiento hacia el norte y hacia cotas más altas de numerosas especies animales. Las especies más generalistas

Figura 5.35 Efecto del cambio climático en las poblaciones de aves europeas, 1980-2005



Nota: Mediante modelos climáticos de envoltura se estimaron tendencias de poblaciones de aves europeas ante el cambio climático. Se empleó un índice con dos grupos de aves terrestres para los años 1980 a 2005. La referencia del índice establecido es de 100 en 1980. La línea naranja representa la tendencia ponderada y modelizada de la composición de 30 especies de aves. Muestra un aumento del área de distribución geográfica en la región estudiada. La línea verde muestra la tendencia modelizada de 92 especies que han experimentado pérdidas en su área. Los cambios se modelizaron mediante el cálculo de un promedio con ayuda de tres modelos climáticos globales y dos escenarios de emisiones.

Fuente: Gregory *et al.*, 2008.

podrían ser menos vulnerables, mientras que las endémicas amenazadas, ya sometidas a presión, correrán mayor peligro, aunque habrá variación espacial en el comportamiento (Levinsky *et al.*, 2007; Lemoine *et al.*, 2007).

La capacidad de desplazamiento de las especies constituirá una limitación importante y representará un reto importante para los investigadores, sobre todo en el contexto de la eficacia de las redes ecológicas en un clima que cambia a un ritmo acelerado.

Por su parte, la limitada capacidad de dispersión de numerosos reptiles y anfibios, asociada a la fragmentación de las redes ecológicas espaciales, es muy probable que reduzca las áreas de distribución de numerosas especies (Hickling *et al.*, 2006; Araújo *et al.*, 2006), sobre todo de la Península Ibérica y de algunas zonas de Italia (mapa 5.31).

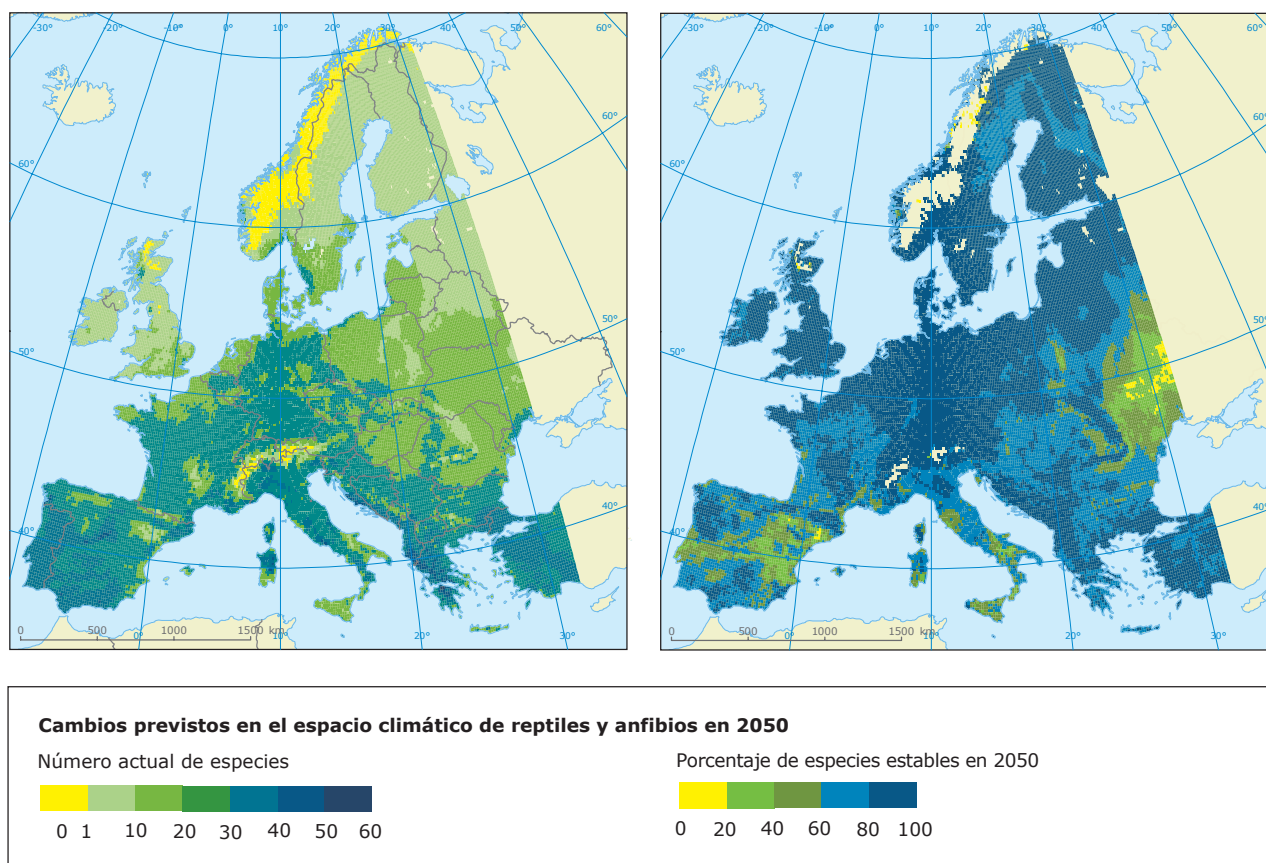
De un estudio realizado con 120 mamíferos terrestres nativos se desprende que previsiblemente la riqueza

biológica se reduzca dramáticamente en la región mediterránea durante este siglo, aunque habrá un aumento hacia el noreste y en zonas montañosas como los Alpes y los Pirineos, asumiendo que el desplazamiento a través de paisajes fragmentados sea posible.

En un escenario de calentamiento climático de 3°C (por encima de los niveles preindustriales), se prevé que las áreas de las aves nidificantes de Europa se desplacen unos 550 km hacia el noroeste a finales del siglo XXI, reduciéndose su ámbito geográfico medio en un 20%. Se prevé que las especies que mayores pérdidas experimenten en sus ámbitos serán las árticas, subárticas y algunas ibéricas (Huntley *et al.*, 2008).

En las regiones polares, las reducciones previstas del hielo marino reducirán drásticamente el hábitat de osos polares, focas y otras especies dependientes del hielo (IPCC, 2007). Además del cambio climático, estos importantes depredadores tendrán que hacer frente también a la reducción de las poblaciones de peces.

Mapa 5.31 Efecto previsto del cambio climático sobre la distribución potencial de reptiles y anfibios en 2050



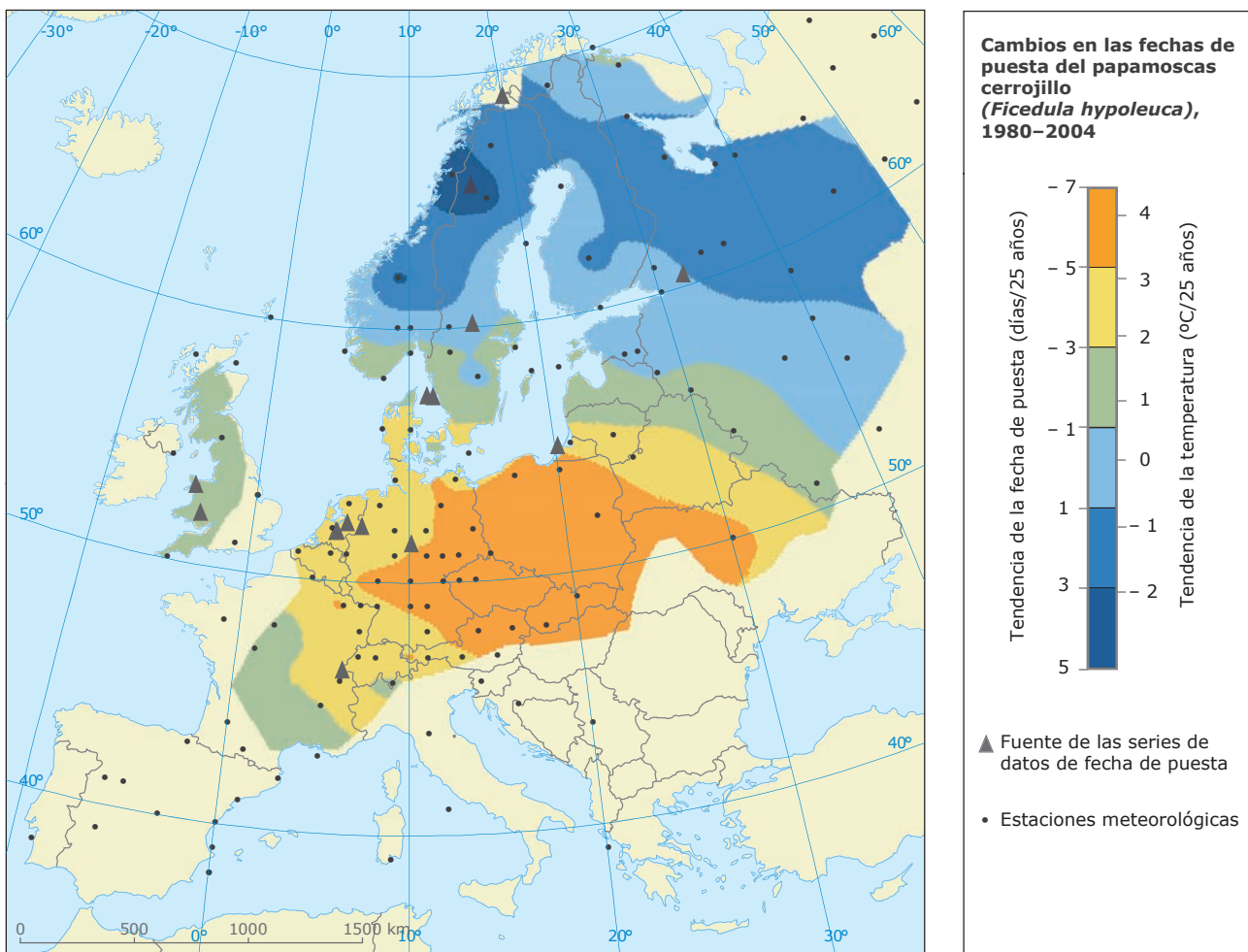
Nota: Los datos previstos sobre la base del mapa del modelo lineal generalizado, utilizando el escenario HadCM3 A2 para el decenio de 2050, se han comparado con la situación actual.

Fuente: Bakkenes, 2007, basado en Araújo *et al.*, 2006.

5.7.5 Fenología animal

Mensajes clave

- El calentamiento climático ha provocado el adelanto de los ciclos vitales de muchos grupos de animales, como el desove de las ranas, la nidificación de las aves y la llegada de aves y mariposas migratorias. El adelanto estacional es particularmente rápido y acusado en el Ártico.
- Los períodos de apareamiento se están alargando, propiciando la eclosión de generaciones adicionales de insectos sensibles a la temperatura como las mariposas, las libélulas y animales parásitos durante el año.
- Se prevé que estas tendencias se mantengan a medida que aumente el calentamiento climático durante las próximas décadas. Podría producirse una explosión de las poblaciones en caso de que la presión depredadora no actúe sobre los individuos más jóvenes. Por el contrario, podría producirse una quiebra demográfica si la emergencia de jóvenes vulnerables no está sincronizada con su principal fuente de alimento o si la reducción de los períodos de hibernación provoca una merma de su estado físico.

Mapa 5.32 Cambios en las fechas de puesta del papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*), 1980–2004

Nota: Puntos: estaciones meteorológicas utilizadas para calcular los cambios en las fechas de puesta locales (derivados de datos sobre la temperatura); triángulos: ubicación de las series cronológicas sobre la fecha de puesta.

Fuente: Both y Marvelde, 2007.

Relevancia

El calentamiento climático afecta a los ciclos vitales de numerosas especies animales, en particular de especies tales como mariposas, libélulas y caballitos del diablo que son sensibles a la temperatura. Las temperaturas primaverales más suaves están propiciando el inicio precoz de la reproducción y la eclosión de generaciones adicionales durante el año. Además, si sobre los más jóvenes no actúan las presiones depredadoras habituales podría producirse una explosión demográfica. Por el contrario, las poblaciones podrían experimentar una quiebra si la emergencia de jóvenes vulnerables no guarda sincronía con su fuente principal de alimento o si la reducción de los períodos de hibernación provoca una merma de su estado físico, como ha puesto de manifiesto el reducido índice de supervivencia de algunos anfibios (Reading, 2007).

Es factible que los parásitos sean más abundantes a medida que aumente la temperatura (Cannon, 1998). Los efectos del cambio climático en los ecosistemas favorecen a las especies generalistas. Las temperaturas más cálidas propician índices altos de reproducción y supervivencia de los insectos. En consecuencia, podrán ser más frecuentes los brotes parasitarios impredecibles y graves (McKinney y Lockwood, 1999). En las regiones templadas, los inviernos más suaves están facilitando el aumento de los índices de supervivencia invernal (Bale *et al.*, 2002) y se ha calculado que, con un aumento de la temperatura de 2°C, algunos insectos podrían tener hasta cinco ciclos vitales adicionales por estación (Yamamura y Kiritani, 1998).

Tendencias pasadas

Con el aumento registrado de la temperatura primaveral en Europa durante los últimos 30 años, numerosos organismos respondieron adelantando el momento de su crecimiento y reproducción.

Un estudio realizado en Gran Bretaña (Crick y Sparks, 1999) analizó 74.258 registros de 65 especies de aves de 1971 a 1995. El estudio mostró la existencia de unas tendencias significativas hacia el adelanto (un promedio de 8,8 días) de las fechas de puesta de 20 especies (31%), y sólo en una la puesta sufrió un retraso significativo. Los efectos, no obstante, no son homogéneos. La fecha prevista de puesta del papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*), por ejemplo, muestra un adelanto significativo durante el período comprendido entre 1980 y 2004 en Europa occidental y central, pero retrasos en Europa septentrional (mapa 5.32); ambas tendencias son determinadas en gran medida por las tendencias de la temperatura (Both y Marvelde, 2007).

En latitudes altas se han observado cambios fenológicos intensos y acelerados en respuesta al calentamiento con un ritmo dos veces superior a la media mundial (Høye *et al.*, 2007). En Groenlandia, la fecha del deshielo se ha adelantado a razón de 14,6 días desde mediados de los años 90, con el consiguiente adelanto de las fechas de puesta de las aves de la región.

Proyecciones

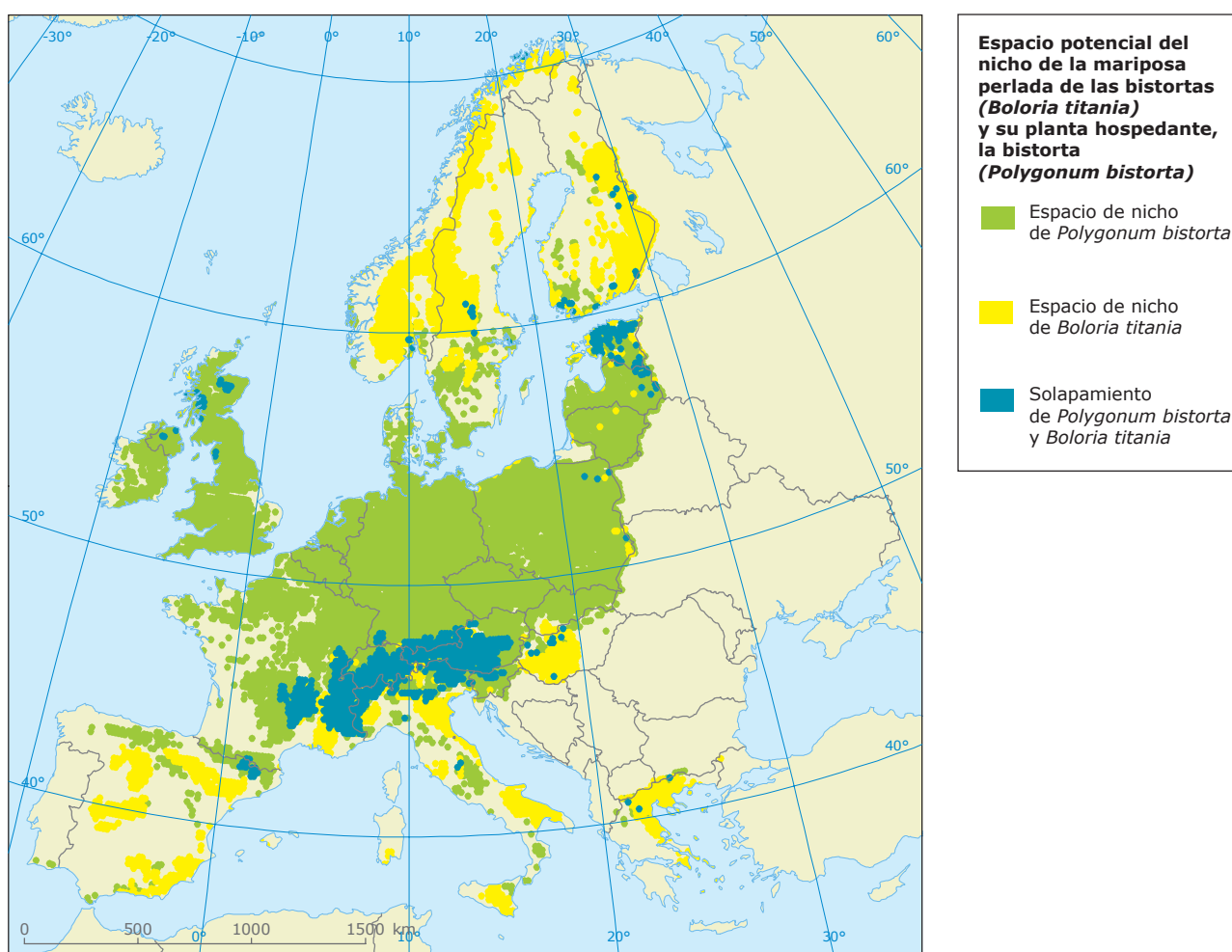
No se dispone de mucha información sobre los efectos futuros del cambio climático en la fenología animal, pero podrían incluir un desequilibrio trófico y alteraciones del funcionamiento de los ecosistemas. La tendencia hacia unas primaveras más cálidas podría continuar induciendo un adelanto de la crianza y la actividad migratoria, siendo previsible que las olas de frío impredecibles causen una elevada mortalidad entre los primeros desplazados. Por su parte, las especies cuyos ciclos vitales estén calibrados con la duración del día y que no respondan tan fácilmente a los cambios de las temperaturas, no serán capaces de explotar los recursos tempranos de la primavera a menos que se adapten.

5.7.6 Relaciones entre las especies y los ecosistemas

Mensajes clave

- La estabilidad de los ecosistemas y, en consecuencia, los servicios que prestan a la sociedad humana, cada vez se verán más afectados por el cambio climático debido a respuestas específicas de las especies y, por consiguiente, a la alteración de las interacciones bióticas establecidas.
- Los umbrales de distribución de las especies hospedantes tienen profundas implicaciones en la dependiente capacidad de expansión de las especies asociadas (huéspedes) y comportan presiones adicionales si éstas son reconocidas como objeto prioritario de protección.

Mapa 5.33 Espacio potencial del nicho de la mariposa perlada de las bistortas (*Boloria titania*) y su planta hospedante, la bistorta (*Polygonum bistorta*)



Fuente: Schweiger *et al.*.

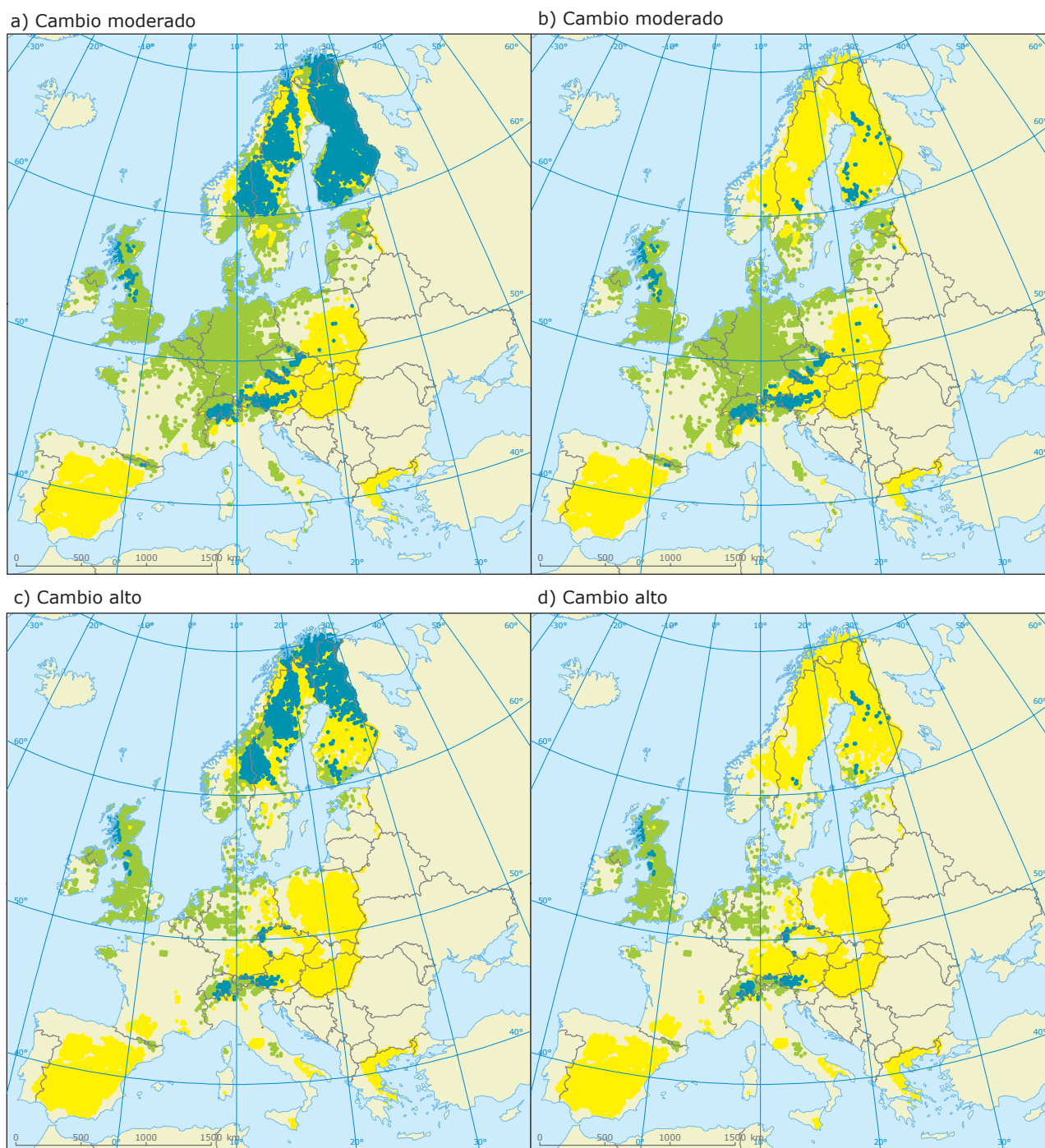
Relevancia

El clima es un factor importante para determinar la distribución de las especies, la composición de las comunidades y la estabilidad de los ecosistemas. Para muchas especies animales, la ausencia de plantas hospedantes vinculadas limita considerablemente su capacidad para colonizar nuevas zonas (Schweiger *et al.*, en prensa). El adelanto de la actividad primaveral

podría generar sincronía entre las fuentes de alimento y el desarrollo, provocando la inanición de los jóvenes que emergen con excesiva precocidad y la alteración de las relaciones entre el depredador y la presa.

Este desajuste trófico se ha comprobado en varios grupos animales, entre ellos las aves (Both *et al.*, 2006) y en algunos casos está provocando la quiebra o la explosión de las poblaciones. Además, fenómenos

Mapa 5.34 Relación entre el espacio de distribución previsto de la mariposa perlada de las bistortas (*Boloria titania*) y su planta hospedante, la bistorta (*Polygonum bistorta*) para 2080



Relación entre el espacio de distribución previsto de la mariposa perlada de las bistortas (*Boloria titania*) y su planta hospedante, la bistorta (*Polygonum bistorta*) para un cambio climático moderado (a, b) y alto (c, d) para 2080 bajo el supuesto de dispersión sin límite (a, c) y sin dispersión (b, d) de su planta hospedante

■ Espacio de nicho de *Polygonum bistorta* ■ Espacio de nicho de *Boloria titania* ■ Solapamiento de *Polygonum bistorta* y *Boloria titania*, que es el espacio de nicho futuro de la mariposa perlada

Nota: Escenarios del cambio mundial basados en argumentos formulados en el seno del proyecto ALARM financiado por la UE (Settele et al., 2005, Spangenberg 2007, www.alarmproject.net).

Fuente: Schweiger et al., en prensa.

extremos como las inundaciones, las sequías y los incendios pueden alterar los ecosistemas impidiendo el desarrollo de determinadas especies vegetales y limitando las opciones de nidificación, crianza y alimentación.

Tendencias pasadas

Muchas especies de mariposas están desplazándose hacia el norte (véase la sección 5.7.4) pero, a menudo, con importantes reducciones en la abundancia y extensión de su área (Warren *et al.*, 2001). Al explicar las distribuciones de mariposas, las interacciones bióticas constituyen un factor importante, pues con frecuencia son específicas de determinadas especies hospedantes. Por ejemplo, son muchas las zonas de Europa climáticamente aptas para la mariposa perlada de las bistortas (*Boloria titania*) (mapa 5.33) y la especie podría migrar incluso más rápidamente en respuesta al cambio climático. Sin embargo, la presencia de su planta hospedante, la bistorta (*Polygonum bistorta*) condiciona significativamente su expansión (Schweiger *et al.*). Asimismo, la distribución actual de la blanca de Asso (*Parnassius mnemosyne*) es atribuible no sólo a la idoneidad climática sino también a la presencia de sus plantas hospedantes, pertenecientes al género *Corydalis* (Araújo y Luoto, 2007).

El cambio climático también ha tenido un efecto perjudicial sobre las comunidades de aves marinas escocesas y sus redes alimentarias. Durante 2004 y 2005, han sufrido severos desplomes de población. En

Shetland, más de 1.000 nidos de arao común y 24.000 de charrán ártico quedaron prácticamente desiertos. En la isla cercana de Foula, en la mayor colonia de págalos grandes del mundo, sólo sobrevivieron unas cuantas crías. Todo ello se debió a una drástica reducción de las poblaciones de lanzón, su principal fuente de alimento. La desaparición del lanzón se debió a su vez al desplazamiento hacia el norte del plancton de aguas frías del que se nutre este pez (véase la sección 5.4). El plancton había desplazado su ámbito porque las aguas entre Gran Bretaña y Escandinavia se había calentado demasiado para que pudiese sobrevivir allí. Desde 1984, algunas especies de aves marinas de la zona de Escocia han experimentado una reducción entre 60 - 70% (CEH, 2005).

Proyecciones

La respuesta al cambio climático de la mariposa perlada de las bistortas (*Boloria titania*) y de su planta hospedante, la bistorta (*Polygonum bistorta*) es probable que origine una reducción de la zona de solapamiento de sus respectivos ámbitos geográficos y, por consiguiente, un futuro incierto para esta mariposa especialista. En un contexto más amplio, estos desequilibrios tróficos benefician a las especies generalistas en perjuicio de las especialistas, ejerciendo presiones adicionales sobre la capacidad de los ecosistemas para prestar determinados servicios y sobre especies consideradas importantes en la conservación de la naturaleza (McKinney y Lockwood, 1999; Reid *et al.*, 2005; Biesmeijer *et al.*, 2006).

5.8 Suelo

5.8.1 Introducción

El clima constituye un factor importante para el desarrollo del suelo y el factor más importante en sus procesos de formación. Al mismo tiempo, los cambios producidos en las propiedades biofísicas del suelo, debido al aumento de las temperaturas, los cambios en la intensidad y la frecuencia de las precipitaciones y el agravamiento de las sequías, pueden influir en la liberación de gases de efecto invernadero. No obstante, es muy limitada la información cuantitativa procedente de las observaciones y la modelización de los impactos del cambio climático sobre el suelo y sobre los distintos procesos de retroalimentación relacionados. Hasta la fecha, las evaluaciones se han basado sobre todo en casos de estudio a nivel local en los que se ha analizado cómo reacciona el suelo ante cambios en el clima combinados con unas prácticas agrícolas y forestales en fase de evolución. Se carece de indicadores de aplicación en toda Europa, que ayuden a los responsables políticos a identificar unas medidas de adaptación apropiadas, como pone de manifiesto el limitado número de indicadores incluidos en este capítulo. Existe una urgente necesidad de abordar esta situación tan poco satisfactoria mediante la formulación de unos planes de control adecuados.

El suelo posee numerosas propiedades biológicas, químicas y físicas que presentan una clara variabilidad espacial y temporal. El cambio climático afectará a estas propiedades y también podrían acarrear consecuencias graves para el bienestar de la población, que dependen de una gran cantidad de bienes y servicios regulados por el suelo. Éste es uno de los sistemas clave para el sustento de la vida en el planeta, responsable de importantes funciones ecológicas y de otra índole como:

- suministro de agua y nutrientes para el crecimiento de las plantas y la producción de alimentos (ecosistemas, agricultura y silvicultura);
- regulación del ciclo del agua;
- ciclos de nutrientes, almacenamiento de carbono y regulación de gases de efecto invernadero;
- captura de contaminantes (capacidad de amortiguación);
- fuente de materias primas (por ejemplo, minerales de la arcilla);
- preservación del patrimonio cultural;

- hábitats de especies animales y vegetales, con la preservación de su diversidad biológica y genética;
- sustento para los asentamientos humanos, constituyendo la base para edificios e infraestructuras, para el vertido de residuos y para la estabilidad de las pendientes.

La Estrategia temática para la protección del suelo de la UE (CE, 2006) ha subrayado que varias de las funciones del suelo se encuentran sometidas a importantes presiones en diversas partes de Europa. Todavía se está estudiando la importante contribución del suelo a los sistemas hídricos, el ciclo global del carbono y otros sistemas, siendo necesario ampliar dicho estudio; hasta la fecha, el suelo se ha enmarcado principalmente en el contexto de las tierras cultivables y de su fertilidad para la producción de cultivos. En las últimas décadas ha empezado a percibirse el suelo como un medio ambiental que proporciona importantes bienes y servicios para todos los ecosistemas acuáticos y terrestres, aunque centrándose todavía en los aspectos económicos y en la evaluación de los distintos tipos de uso del suelo.

Los cambios significativos previstos en los patrones de precipitación afectarán a la formación del suelo y sus funciones. El suelo, como elemento integrante del sistema suelo-agua-planta, contribuye e influye en los cambios sobrevenidos en la recarga de acuíferos, en la calidad del agua por medio de la capacidad de amortiguación, en el crecimiento de las plantas y en la evapotranspiración a través del agua disponible para las raíces, y en la escorrentía por medio de la capacidad de retención, influyendo asimismo en dichos cambios. Todo ello resulta vital para la gestión de la tierra y del agua. Es necesaria una mejor comprensión y más cuantitativa de este sistema para mejorar los pronósticos y las posibles acciones de respuesta. Se necesitan indicadores con suficiente resolución en el tiempo y en el espacio para unir las observaciones con los nuevos modelos que incluyen el cambio climático.

En este capítulo se abordan las cuestiones que se indican a continuación, sobre la base del limitado volumen de observaciones disponibles en la actualidad y de una serie de modelos. La materia orgánica del suelo es el motor de la mayoría de las funciones que el suelo desempeña; su reducción podría provocar un descenso de la fertilidad y la biodiversidad (véase el recuadro 5.10), una pérdida de la estructura del suelo, una reducción de la capacidad de retención de humedad y un aumento del riesgo de erosión y compactación. Los cambios producidos en los patrones de precipitación y de viento provocarán un aumento de la erosión de los suelos vulnerables, que suelen tener a menudo un bajo contenido de materia

orgánica. El cambio climático aumentará el riesgo de desertificación que ya afecta al sur de Europa y se espera que se desplace paulatinamente hacia el norte (véase el recuadro 5.11). La desertificación⁽⁴⁾ constituye una fase adelantada de la degradación del suelo en la que éste ha perdido parte de su capacidad de sustento de las comunidades humanas y los ecosistemas. Mediante la absorción de agua, la materia orgánica del suelo puede contribuir a la mitigación de las inundaciones tras fenómenos de precipitación extrema, así como almacenar agua en el supuesto de que se produzcan sequías más frecuentes y más graves (véase la sección 5.5). No obstante, la evaluación del impacto del cambio climático sigue siendo una tarea difícil. Para que se produzcan cambios en propiedades como la textura y la composición mineralógica es necesario que transcurran periodos de tiempo «geológico» prolongados, mientras que propiedades como el pH, el contenido de materia orgánica o la actividad microbiológica responderán con mayor rapidez. Además, la respuesta de un tipo de suelo concreto podría ser a la vez positiva y

negativa, dependiendo de su función. El aumento de las temperaturas y la precipitación podría favorecer un aumento de la productividad agrícola (véase la sección 5.9), si bien podría incrementar también el riesgo de erosión.

El suelo también puede actuar como sumidero de carbono, absorbiendo el dióxido de carbono de la atmósfera y mitigando así el calentamiento de la tierra. En las zonas de bajas temperaturas y con un grado de humedad suficiente la descomposición de la biomasa muerta (hojas, tallos y raíces de plantas) es reducida, con la consiguiente acumulación de materia orgánica del suelo. El aumento de las temperaturas acelerará el ritmo de degradación, provocando un aumento de las emisiones de dióxido de carbono y de metano procedentes del suelo. Para mantener o mejorar las reservas de carbono del suelo sería necesario por tanto mejorar las prácticas de gestión de los humedales y de uso del suelo.

(4) El Convenio de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD) define la desertificación como «la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, como las variaciones climáticas y las actividades humanas» (CNULD, 1997).

Recuadro 5.10 Los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad del suelo**Mensajes clave**

- Los organismos del suelo controlan numerosos procesos de los ecosistemas, proporcionando al medio ambiente y a la sociedad una serie de bienes y servicios económicos y de ecosistemas.
- El cambio climático altera el hábitat de la biota del suelo, que afecta a la diversidad y a la

estructura de las especies y a su abundancia. El funcionamiento de los ecosistemas, incluido el suministro de nutrientes y los ciclos de nitrógeno y de carbono, se modifica en consecuencia. No obstante, el conocimiento cuantificado sobre estos impactos es limitado.

La biodiversidad del suelo controla varios procesos tales como los ciclos de materia orgánica y de nutrientes, la degradación de los contaminantes orgánicos, la fijación biótica del nitrógeno, la absorción de nutrientes debido a la simbiosis planta-microorganismos, el fomento del crecimiento de las plantas y la protección de las mismas y el mantenimiento de la estructura física del suelo y la polinización. Es posible que los impactos potenciales más importantes del cambio climático sobre el suelo guarden relación con la biodiversidad subsuperficial, que abarca desde bacterias, hongos, microbios e invertebrados microscópicos hasta invertebrados de mayor tamaño tales como hormigas, lombrices de tierra y termitas. Dado que la mayor parte de la biodiversidad del suelo y de los sedimentos se oculta debajo de la superficie, la riqueza de especies sigue sin conocerse apenas, está escasamente representada y rara vez es considerada en los modelos del cambio climático o en los planes de adaptación (Behan-Pelletier y Newton, 1999; Paustian *et al.*, 2000; Wolters *et al.*, 2000). No obstante, se calcula que la diversidad biológica del suelo es muy superior a la de los sistemas de superficie (Wall y Virginia, 2000). Esta inmensa biodiversidad es crítica para el bienestar de todas las formas de vida tanto superficiales como subsuperficiales: realiza funciones ecológicas como la filtración del aire y el agua, el control de la erosión, la regulación de los ciclos globales de nutrientes, carbono, nitrógeno y fósforo (Brussard *et al.*, 1997), el reciclaje de residuos mediante la descomposición, el control biológico de las plagas de las plantas y los humanos, y la fertilidad del suelo.

El Comité sobre la biodiversidad del suelo y los sedimentos y el funcionamiento de los ecosistemas del SCOPE ha sintetizado recientemente la información sobre la diversidad de las especies subterráneas y el funcionamiento de los ecosistemas en una serie de seminarios internacionales (Behan-Pelletier y Newton, 1999; Brussaard *et al.*, 1997, 2007; Hooper *et al.*, 2000; Wolters *et al.*, 2000). La mayoría de las fases que conforman los procesos de los ecosistemas del suelo las realizan grupos de especies procedentes de diversos filos, obteniéndose así una gran redundancia de especies (distintas especies que realizan los mismos procesos en los ecosistemas). Algunos procesos críticos los realizan unos pocos taxones «clave» (por ejemplo, principalmente invertebrados como termitas, lombrices de tierra y enquitreidos).

Los suelos contienen una gran cantidad de carbono y la emisión de CO₂ a la atmósfera depende en gran medida de las actividades de la biota del suelo. Ésta regula el proceso de degradación o descomposición, que afecta directamente al nivel de carbono de los suelos. La pérdida, inducida por el clima, de invertebrados claves en diversos ecosistemas de escasa diversidad y extendidos por todo el mundo puede contribuir a

que se produzcan cambios significativos en el ciclo del carbono y, por ende, en las reservas y flujos de carbono por medio de la modificación del funcionamiento de los ecosistemas (Ayres *et al.*, 2008; Barrett *et al.*, 2008; Poage *et al.*, 2008).

Nuestro conocimiento de las especies del suelo que participan en la descomposición y sobre el hecho de si alguna especie independiente tiene algún efecto sobre los procesos de los ecosistemas es limitado. Por ejemplo, no se ha establecido en estudios de campo la relación entre el número de especies en un grupo concreto de suelos y un proceso de un ecosistema, como puede ser el ritmo de descomposición. Por consiguiente, cuando los suelos se degradan, no se tienen conocimientos de los efectos sobre su diversidad biológica y las funciones del ecosistema.

El cambio climático puede afectar a la biodiversidad del suelo directamente, alterando la temperatura y la humedad del suelo, e indirectamente alterando las comunidades vegetales y la productividad vegetal, y el ritmo de descomposición de la materia orgánica. No obstante, el cambio climático no afectará a toda la biota del suelo en igual medida; según Wall y sus colaboradores (2001), las termitas y los enquitreidos serán los más afectados. Los efectos del calentamiento podrían ser más acusados en los ecosistemas condicionados actualmente por la temperatura, como la tundra ártica, los desiertos semipolares (Swift *et al.*, 1998; Convey *et al.*, 2002) y las zonas montañosas. Investigaciones realizadas en la Laponia sueca utilizando el enfoque de manipulación ambiental han demostrado que un aumento de la temperatura origina un aumento de la densidad de los nemátodos, los hongos y las bacterias, y una reducción de la biodiversidad (Ruess *et al.*, 1999).

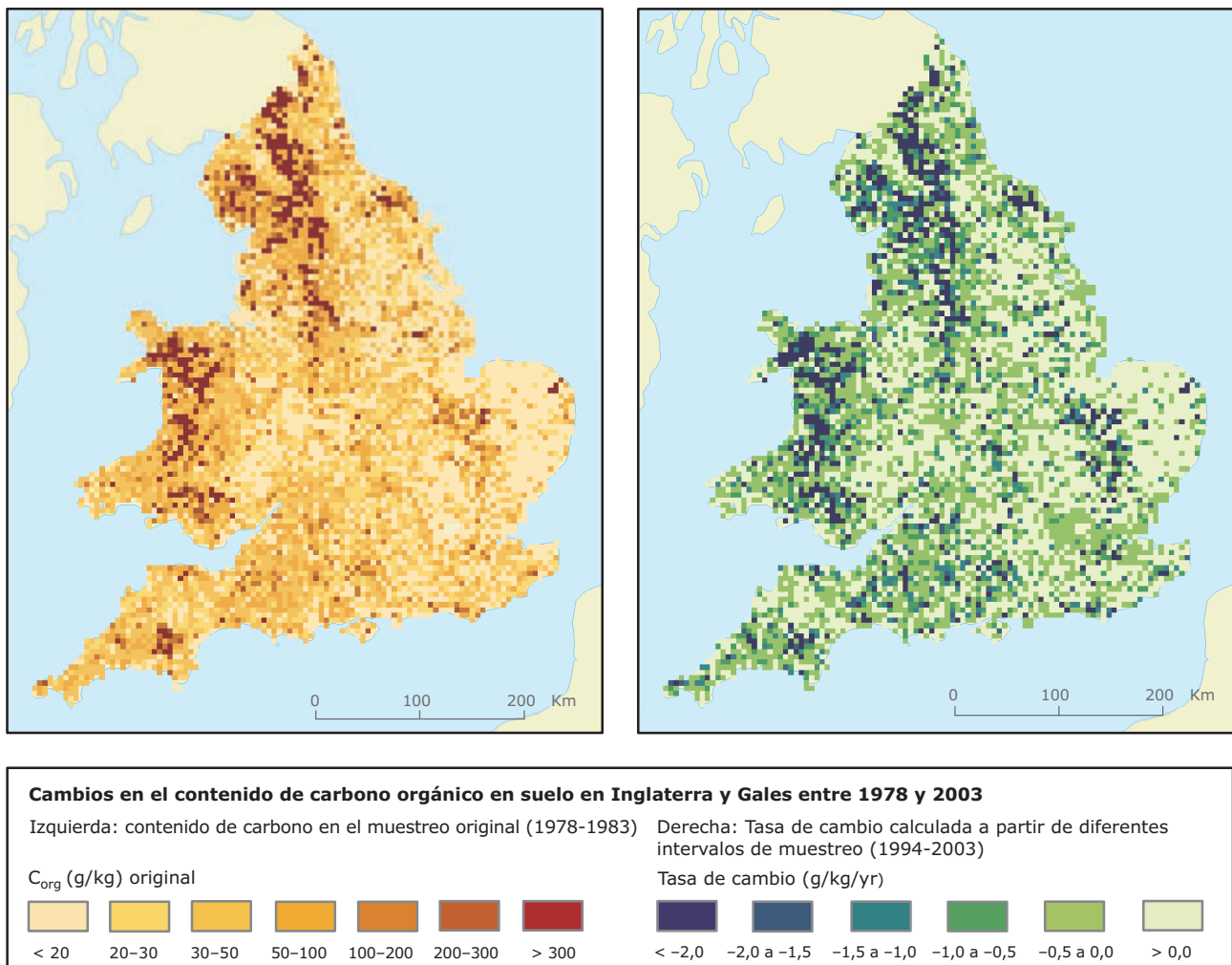
La relación existente entre la fauna y la vegetación del suelo, por ejemplo los bosques, es crítica (Binkley y Cristian, 1998; González y Seastedt, 2001; Hooper *et al.*, 2000). El proyecto Global Litter Invertebrate Decomposition Experiment (<http://www.nrel.colostate.edu/projects/glide/>) demuestra que la hojarasca del suelo y los organismos hallados bajo distintas especies arbóreas son muy específicos. La pérdida de especies arbóreas como consecuencia del cambio climático podría causar la pérdida de la correspondiente biodiversidad del suelo. Estas transformaciones de los ecosistemas pueden afectar a la capacidad de almacenamiento de carbono del suelo. Si se pierde o se daña la biodiversidad del suelo y las especies y servicios que proporciona, el tiempo necesario para su recuperación y su restauración es excesivamente largo y, en algunos casos, la pérdida de algunas especies es irreversible.

5.8.2 Carbono orgánico en suelo

Mensajes clave

- El suelo de la UE contiene en torno a 71 gigatoneladas de carbono orgánico, lo que representa prácticamente el 10% del carbono acumulado en la atmósfera. Un aumento de la temperatura y una reducción de la humedad tienden a acelerar la descomposición de la materia orgánica, provocando una reducción de las reservas de carbono orgánico en suelo europeo y un incremento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Esto podría aniquilar todos los logros obtenidos por otros sectores económicos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico.
- Ya se han observado pérdidas de carbono orgánico en suelo mediante mediciones realizadas en varias regiones europeas durante los últimos 25 años.
- Los cambios previstos en el clima durante el siglo XXI alterarán la contribución del suelo al ciclo del CO₂ en la mayor parte de la UE. Cabría aplicar unas prácticas de gestión y de uso del suelo adaptadas para contrarrestar la reducción de los niveles de carbono en el suelo inducida por el clima.

Mapa 5.35 Cambios en el contenido de carbono orgánico en suelo en Inglaterra y Gales entre 1978 y 2003



Fuente: Bellamy *et al.*, 2005.

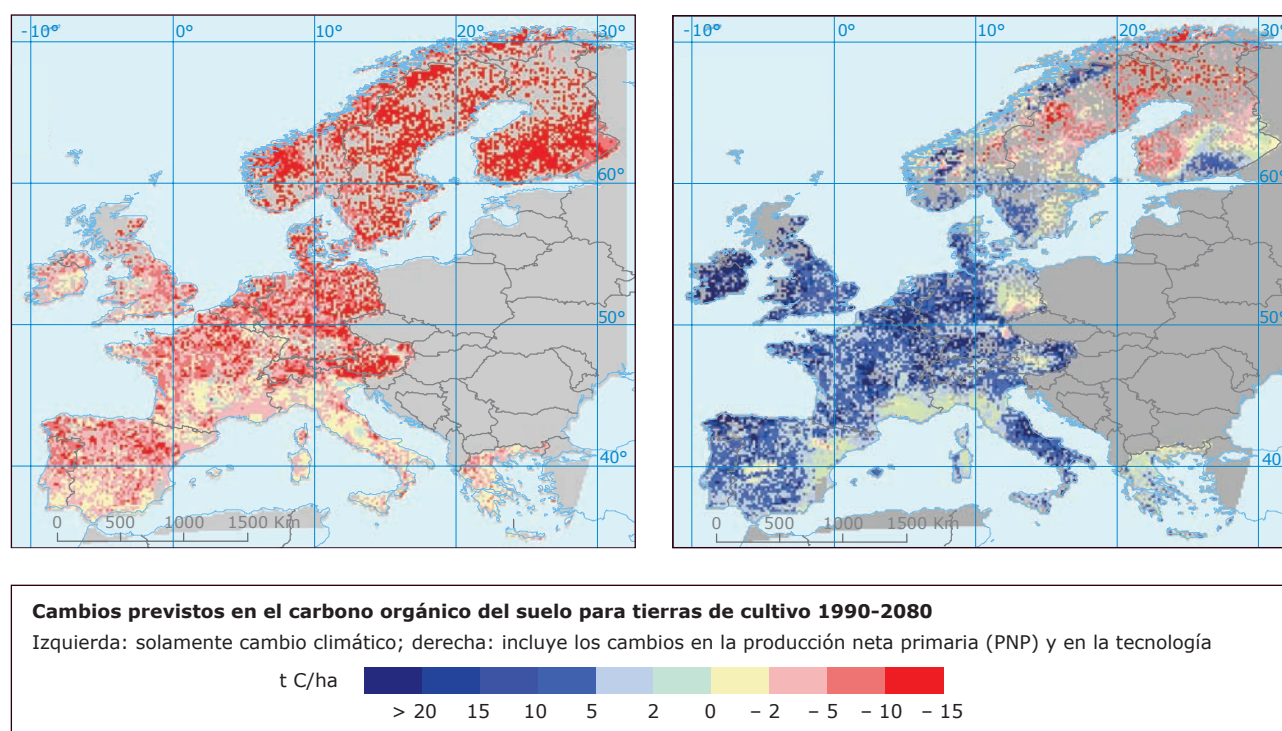
Relevancia

El carbono orgánico del suelo constituye un elemento dinámico del ciclo del carbono, que incluye la atmósfera, el agua y los constituyentes superficiales y subterráneos de la biosfera. La fuente principal de carbono orgánico se encuentra en los organismos que sintetizan su alimento a partir de sustancias inorgánicas (autótrofos), como las plantas fotosintéticas. En este proceso, el carbono atmosférico se utiliza para crear materia orgánica y entra en las capas del suelo por medio de la descomposición y la formación de humus.

Las condiciones climáticas influyen enormemente tanto en las tendencias como en los ritmos de acumulación y transformación de sustancias orgánicas en el suelo. El aumento de la temperatura y de la aridez (véase el recuadro 5.11) provoca un descenso de la cantidad de carbono orgánico de los suelos en las zonas afectadas. El descenso de los niveles de carbono orgánico del suelo es generalmente perjudicial para la fertilidad del suelo y para su capacidad de retención de humedad, y tiende a incrementar la compactación del suelo, lo que provoca un aumento de la escorrentía de superficie y de la erosión. La reducción de los niveles de carbono orgánico provoca asimismo otros efectos como una

destrucción de la biodiversidad y un aumento de la susceptibilidad a condiciones ácidas o alcalinas. Los cambios previstos acelerarán la liberación de CO₂ procedente del suelo, lo que contribuirá al aumento de las concentraciones en la atmósfera (Janssens, 2004; Bellamy, 2005). Las principales medidas para reducir el efecto perjudicial del aumento de las temperaturas unido a la reducción de la humedad del suelo sobre la cantidad de carbono orgánico en él son los cambios en la cobertura del suelo y la adaptación de prácticas de su gestión (Liski *et al.*, 2002; Janssens *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2005, 2006). Bajo unas condiciones climáticas dadas, las praderas y los bosques tienden a acumular mayores reservas de carbono orgánico que las superficies cultivables y se consideran sumideros netos de carbono (Vleeshouwers y Verhagen, 2002). Las prácticas de gestión del suelo tienen por objeto aumentar la producción primaria neta y reducir las pérdidas de biomasa superficial a causa de la descomposición. Las medidas de adaptación aplicables al suelo agrícola consisten en la introducción de cambios en las prácticas agrarias, como un menor laboreo del suelo o la conservación de los residuos de los cultivos después de la cosecha.

Mapa 5.36 Cambios previstos en el carbono orgánico del suelo para tierras de cultivo 1990-2080



Fuente: Smith *et al.*, 2005.

Tendencias pasadas

En el pasado, las pérdidas de carbono orgánico del suelo se debían fundamentalmente a la utilización del suelo para la producción de cultivos agrícolas.

Un estudio de las tierras de cultivo belgas (210.000 muestras de suelo tomadas entre 1989 y 1999) indica una pérdida media anual de carbono orgánico de 76 gCm⁻² (Sleutel *et al.*, 2003). En un inventario a gran escala realizado en Austria se calculó que las tierras de cultivo perdían 24 gCm⁻² al año (Dersch y Boehm, 1997). La intensificación general de la agricultura en el pasado ha podido ejercer mayor efecto que el cambio climático sobre el carbono orgánico presente en el suelo agrícola. En Europa, las turberas han constituido un importante sumidero de CO₂ atmosférico desde el último máximo glacial. En la actualidad se calcula que contienen alrededor de 42 Gt de carbono, aproximadamente el 60% de todo el carbono almacenado en los suelos europeos, y constituyen por tanto un componente importante de la reserva de carbono europea (Byrne *et al.*, 2004). La pérdida anual de carbono a causa del drenaje de las turberas oscila entre 0 y 47 gCm⁻² (Lappalainen, 1996).

Proyecciones

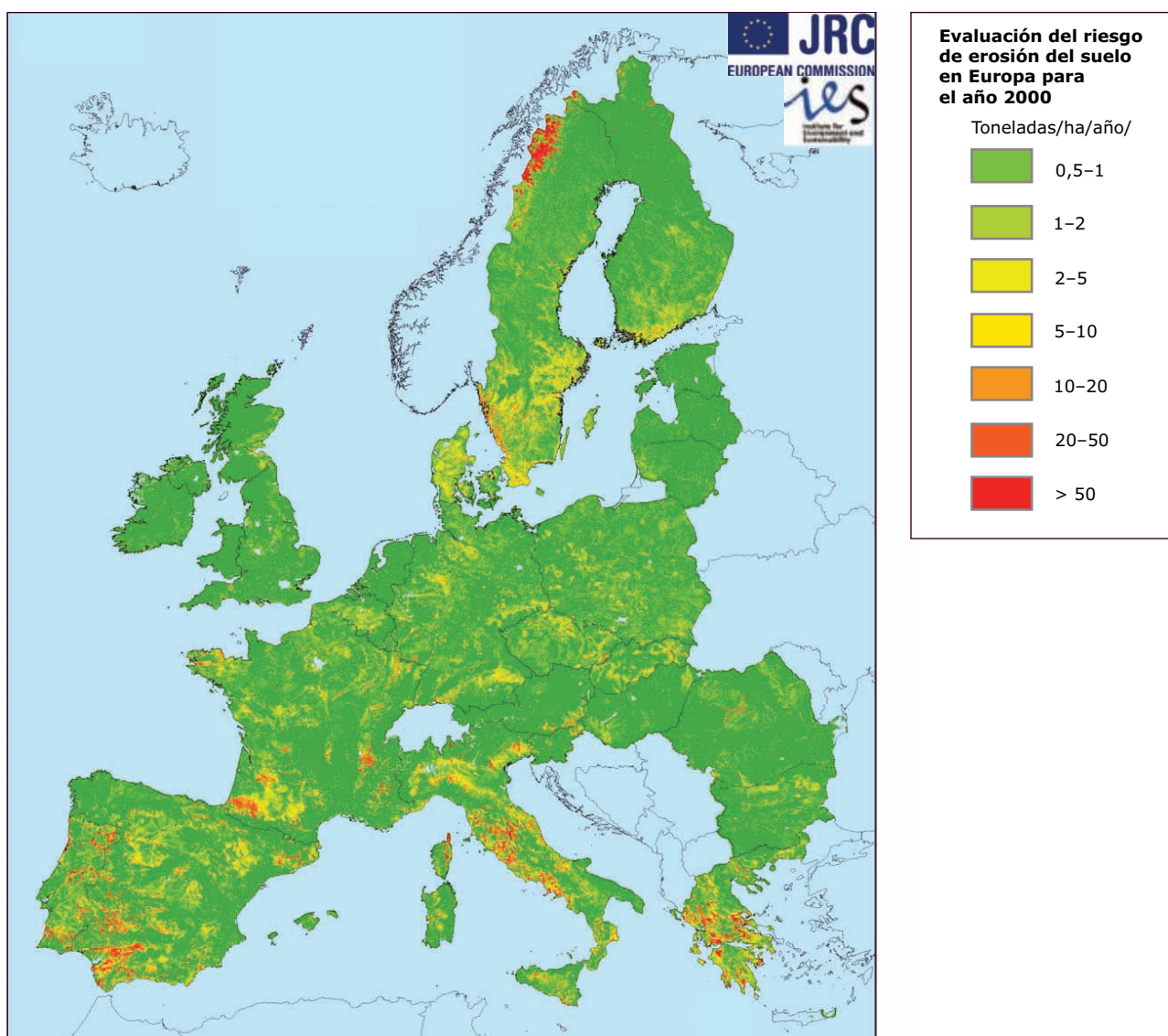
La cantidad de carbono orgánico del suelo viene determinada fundamentalmente por el equilibrio entre la producción primaria neta (PPN) de la vegetación y el ritmo de descomposición de la materia orgánica. Sin un aumento de la PPN, el carbono del suelo en las tierras de cultivo podría descender entre 9 y 12 t C ha⁻¹. Si se tienen en cuenta los cambios en la PPN y los avances tecnológicos, la cantidad de carbono orgánico en las tierras de cultivo podría incrementarse entre 1–7 t C ha⁻¹ (Smith, *et al.*, 2005). El mapa 5.36 muestra que el cambio climático podría provocar pérdidas (rojo) de carbono orgánico del suelo en la mayor parte de Europa. La aplicación de medidas de adaptación en el sector agrícola con el fin de mejorar el carbono del suelo podría ayudar a invertir esta tendencia (azul). Cabe señalar, no obstante, que estos cambios previstos y modelizados están sujetos a un elevado grado de incertidumbre.

5.8.3 Erosión hídrica del suelo

Mensajes clave

- Se calcula que la erosión hídrica afecta a 115 millones de hectáreas, el 12% de la superficie terrestre de la UE.
- Los cambios previstos en el clima durante el siglo XXI, con el aumento de las variaciones de los patrones y la intensidad de la precipitación, aumentarán la susceptibilidad de los suelos a la erosión.
- Los efectos externos de la erosión del suelo aumentarán con el cambio climático y con los consiguientes cambios relacionados con los patrones e intensidad de la pluviometría.

Mapa 5.37 Evaluación del riesgo de erosión del suelo en Europa para el año 2000



Nota: Los resultados se han obtenido mediante la aplicación de dos modelos (PESERA y RUSLE, CCI). Las zonas sombreadas en amarillo y en rojo son muy vulnerables a la erosión hídrica del suelo.

Fuente: Centro Común de Investigación (CCI), INRA (Francia), (http://eusoils.jrc.it/ESDB_Archive/serae/Serae_data.html).

Relevancia

El cambio climático influirá en los procesos de erosión del suelo. El exceso de agua debido a episodios de precipitación intensa o prolongada puede ser enormemente perjudicial para el suelo. La erosión laminar, la formación de cárcavas y regueros puede eliminar la capa superficial del suelo, destruyendo completamente su capacidad para proporcionar servicios ambientales y económicos. Favis-Mortlock y Boardman (1995), con ayuda del modelo EPIC (Calculador de Impacto Erosión-Productividad) (Williams y Sharpley, 1989), detectaron que un aumento del 7% en la precipitación podría provocar un aumento del 26% en la erosión en el Reino Unido. En las altas regiones montañosas como los Alpes, la reducción del permafrost (observada y prevista) puede provocar, por ejemplo, mayores corrimientos de tierra con impactos sustanciales sobre las infraestructuras (carreteras, ferrocarril, vehículos a tracción por cable) y sobre sectores económicos como el turismo (véase la sección 5.3).

Muchos de los modelos de riesgo de erosión del suelo incluyen un factor de erosividad de la lluvia y un factor de erosionabilidad del suelo que reflejan las condiciones de precipitación media anual. No obstante, los valores disponibles en la actualidad correspondientes a los factores de erosividad de la lluvia y erosionabilidad del suelo podrían no recoger adecuadamente las tormentas de períodos de retorno de baja probabilidad y las tormentas más frecuentes e intensas provocadas por el cambio climático previsto.

La relación existente entre el cambio climático y la erosión del suelo es compleja y necesita ser mejor definida, investigada y controlada para obtener una idea clara de las tendencias futuras. Se deberían

formular mediciones y modelos que contengan una distribución espacial y temporal más detallada de la precipitación y de los impactos sobre la erosión del suelo o el riesgo de erosión, y también se deberían formular indicadores destinados a la evaluación de las medidas apropiadas.

Tendencias pasadas

No se dispone de tendencias pasadas sobre la erosión a escala europea. Sobre la base de la modelización aplicable a toda la UE, se calcula que 115 millones de hectáreas, lo que equivale al 12% de la superficie terrestre de la UE (en 2000) son objeto de la erosión hídrica (véase el mapa 5.37). En esta evaluación, para calcular el riesgo de erosión hídrica se utilizaron valores medios anuales para la precipitación. No obstante, este tipo de riesgo viene determinado, en gran medida, por los fenómenos de precipitación extrema (por ejemplo, diaria, horaria). La incertidumbre de este riesgo de erosión modelizado es, por consiguiente, elevada, especialmente a escala local.

Proyecciones

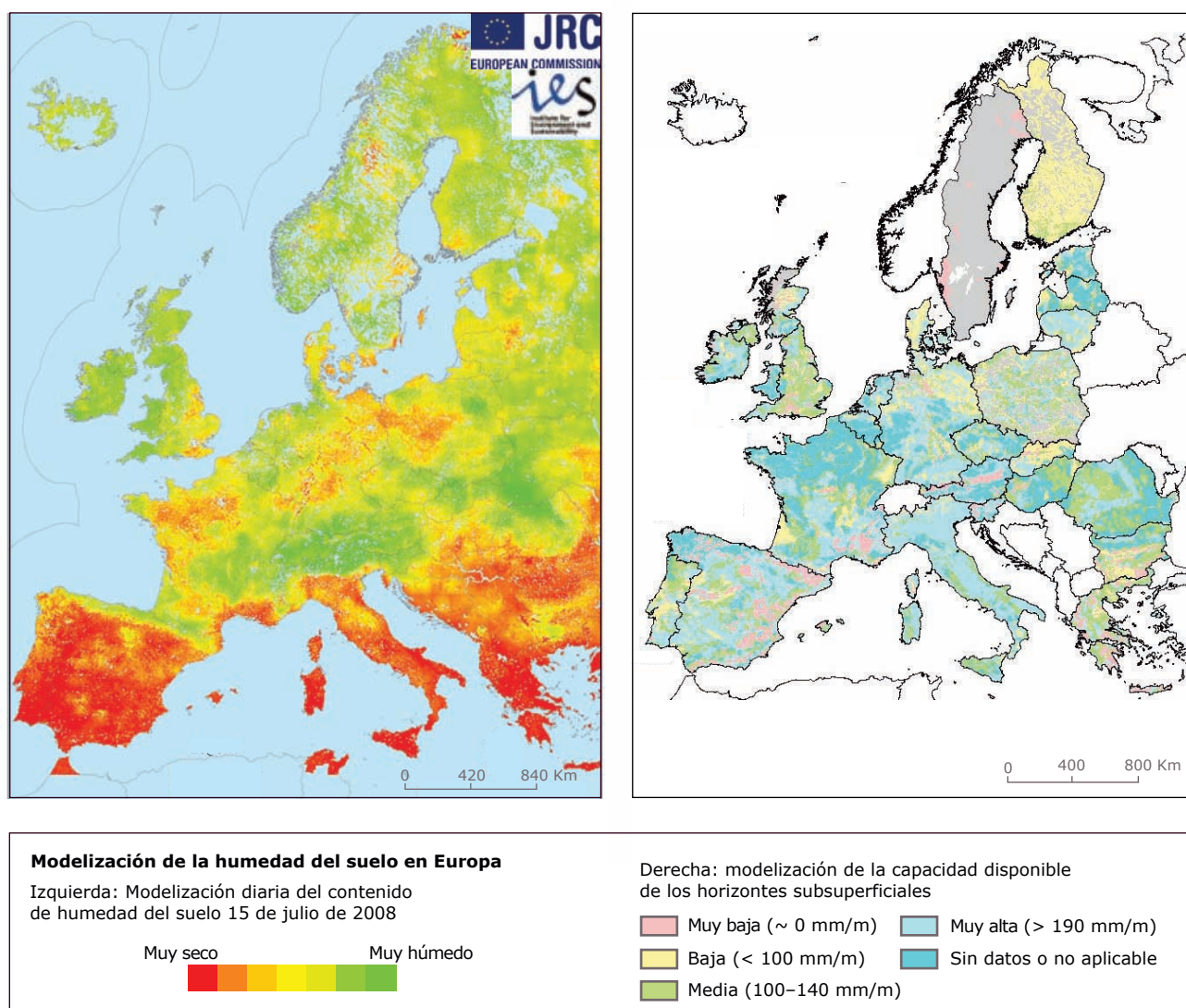
Para modelizar los efectos del futuro cambio climático sobre la erosión del suelo se han realizado varios estudios (por ejemplo, Kirkby *et al.*, 2004). Estos estudios muestran una respuesta temporal y espacial no lineal de la erosión del suelo al cambio climático, con un aumento de la erosión relativamente elevada durante los años húmedos en comparación con los años secos, e incrementos espacialmente esporádicos. Está previsto que aumente la erosión conforme aumente la intensidad y la cuantía de la precipitación, y que disminuya conforme aumentan la cobertura del suelo y la cubierta forestal (IPCC, 2007a).

5.8.4 Retención de agua

Mensajes clave

- El aumento de las temperaturas y la reducción de la materia orgánica del suelo debidos al cambio climático y a los cambios producidos en la gestión del suelo afectarán a la capacidad de retención de humedad y al contenido en humedad del suelo.
- Las proyecciones (para el período 2071–2100) muestran una reducción general de la humedad del suelo en verano en gran parte de Europa, importantes reducciones en la región mediterránea y aumentos en la zona nororiental de Europa.
- El mantenimiento de la capacidad de retención de agua es importante para reducir los impactos de las precipitaciones intensas y las sequías, que está previsto que sean cada vez más frecuentes y graves.

Mapa 5.38 Modelización de la humedad del suelo en Europa



Nota: Izquierda: ejemplo de una previsión de humedad del horizonte superficial del suelo (15 de julio de 2008), derecha: capacidad de agua disponible en los horizontes subsuperficiales derivada de datos de modelización.

Fuentes: Centro Europeo de Datos sobre el Suelo (ESDAC), <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/esdac/index.html> (izquierda); y Sistema Europeo de Alerta de Inundaciones (EFAS) <http://efas.jrc.ec.europa.eu/> (derecha).

Relevancia

La retención de humedad del suelo constituye una importante propiedad hidráulica del suelo que rige el funcionamiento de este último en los ecosistemas y que afecta en gran medida a la gestión del suelo. La humedad del suelo es un importante amortiguador contra las inundaciones, y la capacidad de retención de los horizontes subsuperficiales es un importante factor regulador del crecimiento de las plantas. Los efectos de los cambios producidos en la retención de humedad del suelo dependen de la proporción de las fracciones texturales y de la cantidad de carbono orgánico presente en el suelo. Cuando existe un bajo contenido en carbono, un aumento del mismo provoca un aumento de la retención de humedad en suelos de textura gruesa y un descenso en los suelos de textura fina. Cuando existe un alto contenido en carbono, un aumento del mismo origina un aumento de la retención de humedad en todos los tipos de texturas de los suelos (Rawls *et al.*, 2003). La materia orgánica del suelo puede absorber hasta veinte veces su peso en agua. Los cambios en la temperatura provocan cambios en la evapotranspiración, la humedad del suelo y la infiltración, los cuales también influirán en la recarga de los acuíferos mediante la alteración de la ratio entre la escorrentía superficial e infiltración. Las proyecciones sobre el cambio climático indican mayores sequías en algunas zonas, lo que podría originar reducciones sustanciales de la humedad del suelo durante el verano, y un aumento de la precipitación, hasta límites incluso excesivos en otras, así como aumentos de los impactos externos de la erosión del suelo. El mantenimiento o incluso la mejora de la capacidad de retención de humedad de los suelos puede desempeñar una función positiva de mitigación de los impactos de la intensidad de las precipitaciones más intensas y de unas sequías más frecuentes y graves. No se dispone de series cronológicas homogéneas sobre las propiedades relevantes del suelo, pero convendría elaborarlás. La formulación de proyecciones sobre las propiedades del suelo presentadas en este informe (capacidad de agua disponible de los horizontes subsuperficiales y la humedad de la tierra vegetal), que

dependen completamente de las propiedades del suelo, resulta difícil debido a la falta de datos para validar los modelos. Es necesario ampliar la investigación con ayuda de la información obtenida por satélite y vincularla a los datos representativos observados.

Tendencias pasadas

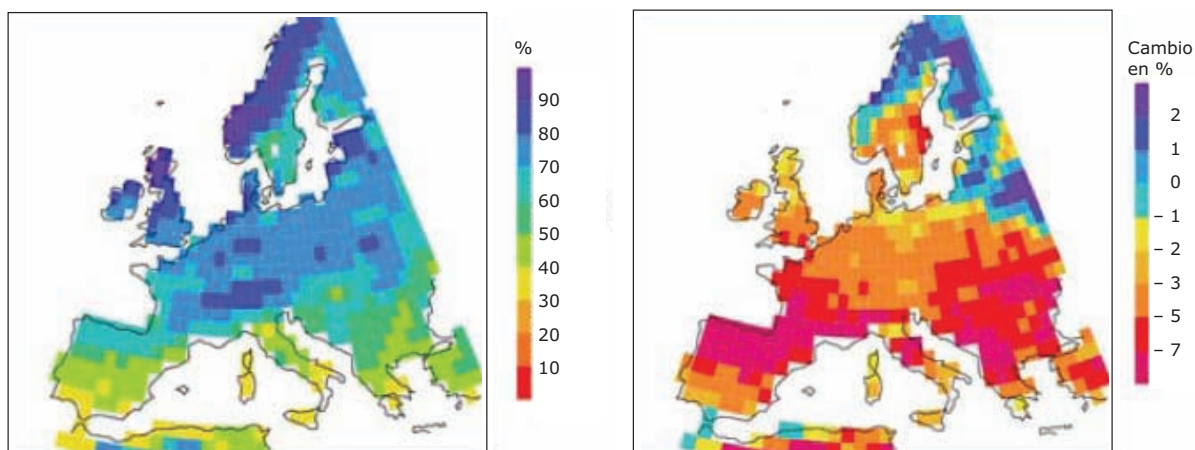
Salvo los datos a nivel local, no existe ninguna indicación clara de las tendencias del pasado acerca de la retención de agua en el conjunto de la UE. No obstante, para evaluar la humedad del suelo, tanto en los horizontes superficiales como subsuperficiales, se pueden utilizar varios modelos. En el mapa 5.38, a la derecha, se muestra la capacidad de agua disponible en los horizontes subsuperficiales obtenida a partir de datos de modelización. La capacidad es elevada en Europa noroccidental y central y baja en algunas zonas del Mediterráneo. Las previsiones sobre las tendencias de la humedad del suelo (en el mapa 5.38, a la izquierda, se muestra un ejemplo correspondiente al 15 de julio de 2008) muestran unas capas superficiales muy húmedas en Europa noroccidental y central y secas en el Mediterráneo.

No es posible realizar un análisis a largo plazo de las tendencias pasadas de estas propiedades modelizadas debido a la falta de información sobre períodos cronológicos suficientes para las principales propiedades del suelo que constituyen los parámetros de entrada de los modelos utilizados.

Proyecciones

En el mapa 5.39 se presenta la humedad del suelo en Europa continental durante el verano según el escenario A2 del IPCC (período 2071–2100), frente al período 1961–1990. Las proyecciones muestran una reducción general de la humedad del suelo durante el verano en la mayor parte de Europa y reducciones significativas en la región mediterránea, mientras que la zona nororiental experimentará un aumento de la humedad del suelo durante el verano.

Mapa 5.39 Modelización de la humedad del suelo durante el verano (1961–1990) y cambios previstos (2071–2100) en Europa



Nota: Simulación de la humedad del suelo con el modelo ECHAM5/T106L31 para el período de referencia (1961–1990) (izquierda) y % de cambios relativos de acuerdo con el escenario A2 del IPCC A2 (2071–2100) (derecha).

Fuente: Calanca *et al.*, 2006.

Recuadro 5.11 Degradación y pérdida del suelo por efecto de la desertificación**Mensajes clave**

- La degradación del suelo es ya intensa en algunas zonas del Mediterráneo y en el centro-oeste de Europa. La degradación del suelo, junto con la prolongación de los períodos de sequía y el aumento de los incendios, que provocan una marginalización e incluso un abandono de las tierras, ya están contribuyendo al aumento del riesgo de desertificación.
- Se espera que el riesgo de desertificación alcance su punto álgido en zonas donde se prevea un descenso de la precipitación, un aumento de la frecuencia de las sequías estivales y de la incidencia de incendios forestales, y donde se haga un uso intensivo del suelo.
- En muchos casos, la desertificación es irreversible, lo que acarrea unos efectos sociales, económicos y ambientales perjudiciales.

En los procesos de desertificación (una fase avanzada de la degradación del suelo), el suelo pierde parte de su capacidad de sustento de las comunidades humanas y de los ecosistemas. La información cuantitativa de los factores causales es escasa y la utilización de modelos constituye el enfoque más común para evaluar la sensibilidad del suelo a la desertificación y a la sequía (CE, 2004).

Las condiciones climáticas de la región mediterránea hacen de ella una de las zonas más gravemente afectadas por la degradación del suelo. La mayor parte de la región es semiárida y objeto de sequías estacionales, con una gran variabilidad en la precipitación y con precipitaciones repentinas intensas. Algunas zonas, sobre todo las situadas a lo largo de las costas noroccidentales del mar Negro, se han catalogado como semiáridas. El grado de degradación del suelo es grave en la mayor parte de la región, siendo muy grave en algunas zonas, por ejemplo, a lo largo del Adriático, donde la cobertura del suelo prácticamente ha desaparecido en algunas zonas (CNULD, 2008; AEMA, 2007). Doce de los veintisiete Estados miembros de la Unión Europea se declararon países afectados de acuerdo con el Convenio de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD) de 1992: en el Mediterráneo: Chipre, Eslovenia, España, Grecia, Italia, Malta y Portugal, y en Europa central y oriental: Bulgaria, Hungría, Letonia, República Eslovaca y Rumanía.

La vulnerabilidad se ve además incrementada por otros factores físicos como las pendientes pronunciadas y la frecuencia de tipos de suelos susceptibles a la degradación. Estos factores, unidos a los cambios producidos en el uso del suelo, la retirada de las medidas de protección contra la erosión del suelo a causa del abandono de las tierras marginales, y el aumento de la frecuencia y la extensión de los incendios forestales, han tenido un fuerte impacto sobre la vulnerabilidad del suelo. Se sabe que algunas tormentas han eliminado 100 toneladas de suelo por hectárea de tierra en la región, y a menudo eliminan entre 20 y 40 toneladas. En los casos más extremos, la degradación del suelo ha dado lugar a la desertificación (AEMA, 2005). La pérdida del suelo, a su vez, reduce el potencial de regeneración de los ecosistemas.

Las zonas más sensibles a dicha reducción son las que poseen suelos poco profundos, pendientes pronunciadas y un ritmo lento de recuperación de la cubierta vegetal. Por ejemplo, los bosques quemados situados en zonas secas con suelos poco profundos rara vez se regeneran (WWF, 2007).

Los cambios producidos en la calidad de los datos y la metodología del indicador dificultan el análisis de la desertificación. Aun así, en los últimos decenios se ha observado un aumento de la vulnerabilidad de las regiones afectadas (IPCC, 2007b; AEMA, 2004ab; AEMA, 2005b; informes nacionales presentados por los países Partes afectados del CNULD (*), ECCE, 2005).

El Mediterráneo se encuentra en una zona de transición situada entre el clima árido del norte de África y el clima templado y húmedo de Europa central. Incluso los cambios más insignificantes producidos en los factores climáticos a gran escala podrían tener impactos relativamente grandes en el régimen climático de las zonas mediterráneas. Se espera que el calentamiento y la desecación estivales provoquen un aumento de los climas áridos y semiáridos en toda la región. Además, a causa de la complejidad de la topografía y del litoral de la región, los cambios producidos en los climas podrían tener efectos muy distintos en el ámbito local (Gao *et al.*, 2006).

Por ello, en estas zonas sensibles, es probable que aumenten las vulnerabilidades a causa del cambio climático previsto. El descenso previsto de la precipitación estival en Europa meridional, el aumento de la frecuencia de las sequías estivales y la mayor incidencia de incendios forestales inducirán, probablemente, a un aumento del riesgo de erosión del suelo (IPCC, 2007a). En las zonas sensibles, se prevé que el cambio climático incremente las diferencias regionales en términos de calidad y disponibilidad de ecosistemas y recursos naturales, y que imponga algunos retos para los principales sectores económicos (como la agricultura y el turismo) (IPCC, 2007b; ECCE, 2005). En las zonas actualmente afectadas, se prevé que la desertificación llegue a ser irreversible si el ambiente es más seco; se producirá un aumento de la presión ejercida por las actividades humanas y una mayor degradación del suelo.

(*) Los informes nacionales se pueden consultar en la página web del CNULD: <http://www.unccd.int>.

5.9 Agricultura y silvicultura

5.9.1 Introducción

Los impactos del cambio climático a medio y a largo plazo sobre la agricultura y la silvicultura son a menudo difíciles de analizar al margen de las influencias no climáticas relacionadas con la gestión de los recursos (Hafner, 2003). No obstante, cada vez son más las pruebas que confirman que procesos como los cambios fenológicos, la duración del periodo vegetativo y el desplazamiento de los cultivos y las especies forestales hacia el norte pueden guardar relación con el cambio climático (IPCC, 2007a). También son cada vez más los impactos debidos al aumento de la frecuencia de algunos de los fenómenos extremos que cabe atribuir al cambio climático.

Los potenciales impactos positivos del cambio climático sobre la agricultura, en términos generales guardan relación con una prolongación de las estaciones de crecimiento y el surgimiento de nuevas oportunidades de cultivo en Europa septentrional, así como de un aumento de la fotosíntesis y de la fertilización de CO₂ en toda Europa. Estos posibles beneficios se ven contrarrestados por impactos potencialmente negativos, entre los que figuran el aumento de la demanda de agua y los periodos de déficit hídrico, el aumento de las necesidades de pesticidas y de daños a los cultivos, y la reducción de las opciones de cultivo en algunas regiones de Europa meridional (Olesen y Bindi, 2004; Maracchi *et al.*, 2005; Chmielewski *et al.*, 2004; Menzel *et al.*, 2003). En términos generales, los cambios en los niveles de CO₂ atmosférico y los aumentos de la temperatura están alterando la calidad y la composición de los cultivos y las praderas, así como la gama de enfermedades y parásitos nativos/alóctonos que, además de afectar a los cultivos, podrían afectar al ganado y, en última instancia, a los humanos. Además, está previsto que el aumento de las concentraciones de ozono relacionado con el cambio climático (Meleux *et al.*, 2007) tenga impactos negativos significativos sobre la agricultura, fundamentalmente en las latitudes medias septentrionales (Reilly *et al.*, 2007).

El vínculo de la silvicultura con el cambio climático tiene dos vertientes. Los bosques desempeñan un papel fundamental en la mitigación del cambio

climático porque actúan como sumideros de dióxido de carbono. Sin embargo, son asimismo vulnerables a los cambios producidos en la temperatura, la precipitación y los fenómenos meteorológicos extremos que pueden tener impactos destructivos y reducir el potencial de secuestro de carbono del bosque. El impacto de fenómenos como los incendios forestales es incluso más negativo, pues la destrucción del bosque aumenta la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera. La mayor parte de los bosques de Europa central están creciendo con mayor rapidez que en el pasado debido, en cierto modo, al calentamiento regional. Por el contrario, la larga ola de calor de 2003 causó una reducción significativa de la producción de biomasa de los bosques (Gabron, 2005).

Si bien resulta muy difícil determinar los impactos económicos del cambio climático sobre la agricultura y la silvicultura en Europa a causa de los efectos de las políticas y las influencias del mercado, así como del constante desarrollo tecnológico de las técnicas de agricultura y silvicultura, existen pruebas de que ambos sectores son más vulnerables (véase también el capítulo 6). Las acciones de gestión pueden contrarrestar, aunque también agravar, los efectos del cambio climático y desempeñarán una función importante en las medidas de adaptación al cambio climático (AEA, 2007).

Los indicadores incluidos en esta sección guardan relación con la producción agrícola, la fenología, el crecimiento y la distribución de la silvicultura y los impactos observados y previstos de los incendios forestales.

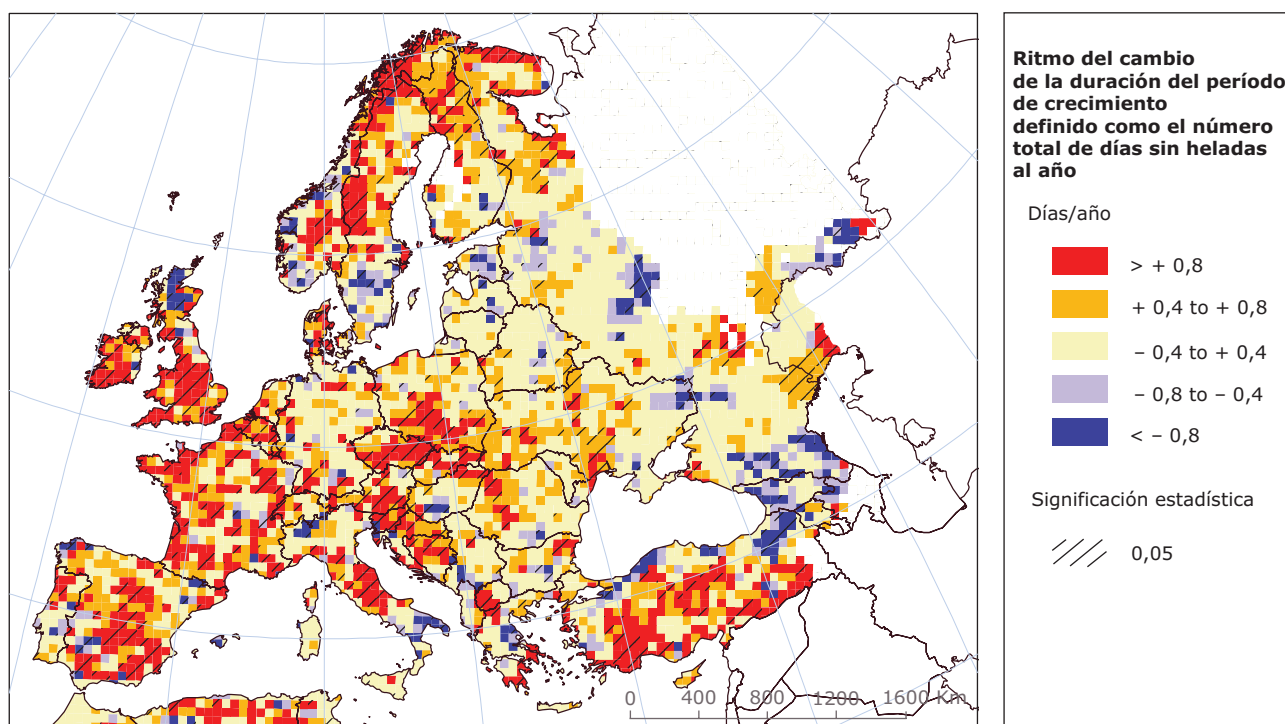
Para vigilar las tendencias y las amenazas vinculadas con los bosques y los productos agrícolas europeos es esencial disponer de unos datos de buena calidad. El Programa de Cooperación Internacional para la Evaluación y Seguimiento de los Efectos de la Contaminación Atmosférica en los Bosques (ICP-Forest), creado originalmente para vigilar los efectos de la contaminación atmosférica, incluye ahora estudios que también se podrían utilizar para controlar los efectos del cambio climático (por ejemplo, la fenología). La constitución de los Centros Europeos de datos sobre el suelo y la silvicultura representa otro claro paso adelante en la recopilación de información relevante.

5.9.2 Período de crecimiento de los cultivos agrícolas

Mensajes clave

- Existen pruebas de que la duración del periodo de crecimiento de varios cultivos agrícolas en Europa ha variado.
- Un periodo de crecimiento más prolongado incrementa el rendimiento de los cultivos y las poblaciones de insectos y favorece la introducción de especies nuevas en zonas que antes no eran adecuadas para las mismas. Estos hechos observados son particularmente importantes en las latitudes septentrionales.
- En las latitudes meridionales se tiende a una reducción del período vegetativo de crecimiento, con el consiguiente incremento en el riesgo de sufrir daños ocasionados por el frío de las heladas primaverales tardías.

Mapa 5.40 Ritmo del cambio de la duración del período de crecimiento de cultivos durante 1975–2007



Nota: El ritmo del cambio (número de días por año) de la duración del período de crecimiento (definida como el número total de días sin heladas por año) tal y como fue registrado durante el período 1975–2007.

Fuente: Base de datos del proyecto MARS/STAT (Genovese, 2004a, 2004b).

Relevancia

El aumento de la temperatura del aire afecta significativamente a la duración del período de crecimiento en grandes zonas de Europa (Scheifinger *et al.*, 2003). El número de días consecutivos con temperaturas por encima de 0°C se puede asumir como el período favorable para el crecimiento. La frecuencia y la duración de este período sin heladas es motivo de interés para los naturalistas, los agricultores y los jardineros, entre otros.

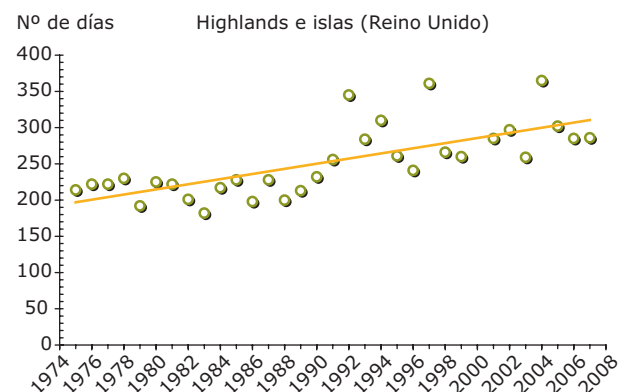
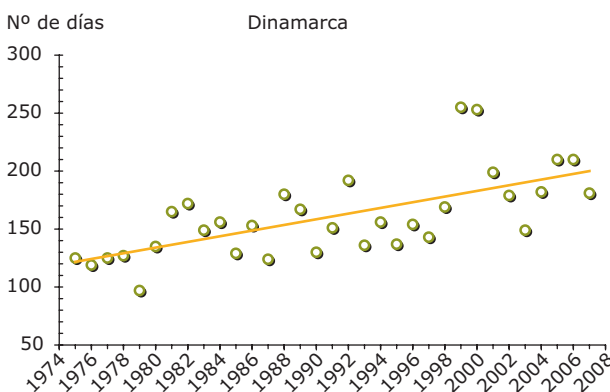
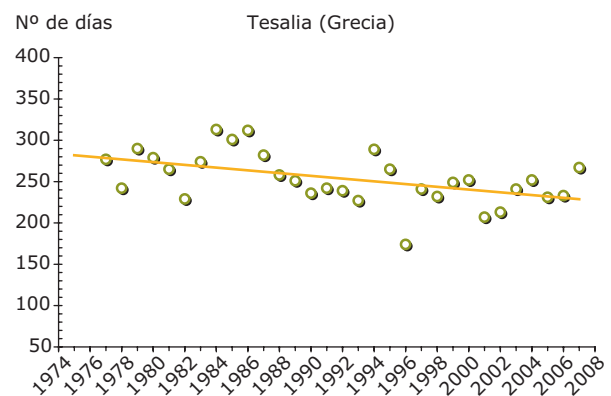
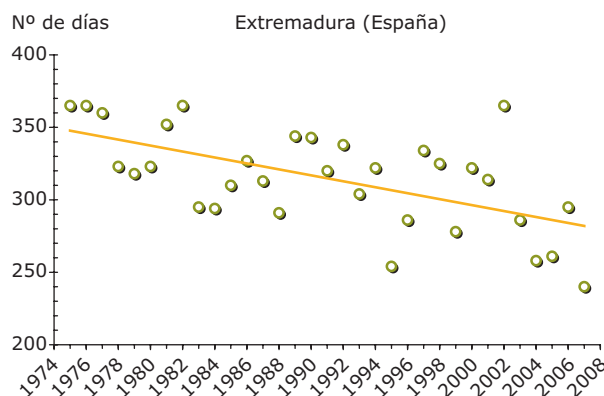
El impacto sobre las plantas y los animales se registra fundamentalmente como una clara tendencia hacia un adelantamiento del crecimiento en primavera y su prolongación hasta el otoño (Menzel y Fabian, 1999). Un período de crecimiento prolongado favorece la proliferación de especies que presentan unas condiciones óptimas para el desarrollo y un aumento de su productividad (por ejemplo, el rendimiento de los cultivos, las poblaciones de insectos), y la introducción de especies nuevas (muy sensibles a las heladas) en áreas previamente limitadas por unas condiciones térmicas desfavorables. Los cambios en las prácticas de gestión, por ejemplo los cambios en las especies cultivadas,



Fotografía: © Agencia Europea de Medio Ambiente

variedades distintas o adaptaciones del calendario de cultivos, pueden contrarrestar los efectos negativos del cambio en los períodos de crecimiento cambiante (plagas) y aprovecharse de los beneficios (cultivos agrícolas).

Figura 5.36 Duración del período libre de heladas en una serie de zonas europeas seleccionadas durante 1975–2007



Fuente: Base de datos del proyecto MARS/STAT (Genovese, 2004a, 2004b).

Tendencias pasadas

Son muchos los estudios que hablan de una prolongación del período transcurrido entre la última helada primaveral y la primera helada otoñal, algo que, en los últimos decenios, se ha observado en varias zonas de Europa y, en términos más generales, en el hemisferio norte (Keeling *et al.*, 1996; Myneni *et al.*, 1997; Magnuson *et al.*, 2000; McCarthy *et al.*, 2001; Menzel y Estrella, 2001; Tucker *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2001; Walther *et al.*, 2002; Root *et al.*, 2003; Tait y Zheng, 2003; Yan *et al.*, 2002; Robeson, 2002; Way *et al.*, 1997). Un análisis del período de crecimiento en Europa entre 1975 y 2007 (figura 5.36) muestra una tendencia general claramente ascendente, que no se distribuye de forma homogénea a lo largo de Europa.

Los ritmos de cambio más elevados (entre 0,5 y 0,7 días al año) se registraron en España central y meridional, Italia central, las costas del Atlántico, las Islas Británicas, Dinamarca y la zona central de Europa. La ampliación del período de crecimiento se debe a una reducción de los fenómenos de heladas primaverales o bien a un retraso progresivo del comienzo de las heladas otoñales. No obstante, en los países mediterráneos, en el mar Negro y en algunas zonas de Rusia se ha observado una reducción. En las zonas donde se produjo una reducción de la duración del período libre de heladas, particularmente en Europa meridional, las plantas están más expuestas al riesgo de sufrir los daños ocasionados por el frío de las heladas a causa del retraso de la última helada invernal-primaveral.

Proyecciones

De acuerdo con las tendencias observadas (que se han acelerado aún más en el último decenio) y en consonancia con las proyecciones sobre el aumento de la temperatura, se prevé que el período de crecimiento se prolongue más (tanto un inicio adelantado de la primavera como un retraso del otoño) y que las especies se desplacen hacia el norte. De esto último ya se ha hablado ampliamente (Aerts *et al.*, 2006). La duración del período vegetativo se verá afectada fundamentalmente por el aumento de las temperaturas en otoño y primavera (Ainsworth y Long, 2005; Norby *et al.*, 2003; Kimball *et al.*, 2002; Jablonski *et al.*, 2002).

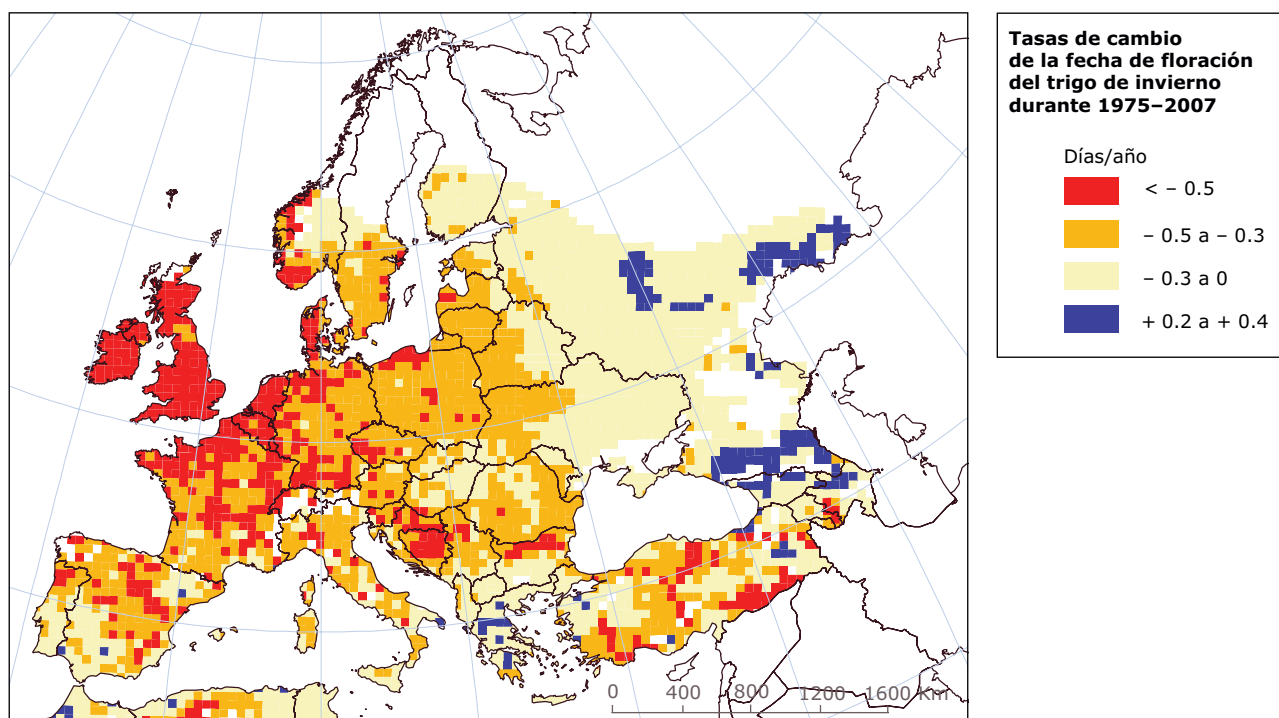
De acuerdo con el análisis realizado por el IPCC, Europa se calentará en todas las estaciones y en todos los escenarios, pero el calentamiento será mayor en Europa occidental y meridional en verano y en Europa septentrional y oriental en invierno. Por ello, se prevé una prolongación mayor de la estación de crecimiento en estas zonas septentrionales y orientales, mientras que en Europa occidental y meridional la limitada disponibilidad de agua y el estrés ejercido por las altas temperaturas durante el verano dificultarán el crecimiento de las plantas.

5.9.3 Calendario del ciclo de los cultivos agrícolas (agrofenología)

Mensajes clave

- Existen pruebas que confirman que, en Europa, la floración y la madurez de varias especies se produce en la actualidad dos o tres semanas antes que en el pasado.
- Se espera que el acortamiento de las fases fenológicas continúe si las temperaturas siguen aumentando.
- Las adaptaciones de las prácticas agrícolas serán cruciales para reducir o evitar los impactos negativos del acortamiento de los ciclos de los cultivos.

Mapa 5.41 Cambio modelizado de la fecha de floración del trigo de invierno durante 1975–2007



Nota: El día del año de floración se ha simulado con ayuda de un modelo de crecimiento de cultivos (sistema de modelización agrometeorológica de cultivos, CGMS).

Fuente: Base de datos del proyecto MARS/STAT (Genovese, 2004a, 2004b).

Relevancia

Los cambios en la fenología de los cultivos proporcionan evidencias importantes de las respuestas al cambio climático regional reciente (IPCC, 2007). Aunque los cambios fenológicos se ven a menudo influenciados por las prácticas de gestión y las nuevas tecnologías agrícolas, el reciente calentamiento experimentado en Europa ha adelantado claramente una parte considerable del calendario agrícola. Algunas etapas concretas del crecimiento (por ejemplo la floración y llenado del grano) son especialmente sensibles a las condiciones meteorológicas y críticas para el rendimiento final. El calendario del ciclo de los

cultivos (agrofenología) determina el éxito productivo del cultivo. En términos generales, un ciclo de cultivo más largo está muy relacionado con un aumento del rendimiento, pues un ciclo prolongado permite utilizar al máximo la energía térmica, la radiación solar y los recursos hídricos disponibles. Los impactos de unas condiciones meteorológicas desfavorables y de los fenómenos extremos varían considerablemente en función del momento en que se producen y de la fase de desarrollo de los cultivos. No obstante, una reducción del período de crecimiento también puede ayudar a evitar las condiciones de estrés estival en las zonas proclives a la sequía. Los agricultores europeos ya han adaptado sus prácticas al clima cambiante,

seleccionado para ello variedades apropiadas o adaptando el calendario de los cultivos, y cabe esperar que esta práctica cada vez sea más frecuente en el futuro.

Tendencias pasadas

Algunos estudios han recopilado datos y observado los cambios producidos en las fases fenológicas de varios cultivos perennes en Europa, como el adelantamiento en el período de crecimiento de los frutales (2,3 días/10 años), el adelanto de la flor del cerezo (2,0 días/10 años) y del manzano (2,2 días/10 años), en consonancia con el aumento de hasta 1,4°C de la temperatura media anual del aire en Alemania (Chmielewski *et al.*, 2004), y un adelanto de la floración del albaricoquero y del melocotonero de 1 a 3 semanas en los últimos 30 años en Francia (Chuine *et al.*, 2004). Las fechas de la

siembra o de la plantación de varios cultivos agrícolas se han adelantado en 5 días en el caso de las patatas en Finlandia, en 10 días en el caso del maíz y la remolacha azucarera en Alemania y en 20 días en el caso del maíz en Francia (IPCC, 2007).

Proyecciones

Asumiendo que la tendencia al calentamiento prosiga, cabría esperar una mayor reducción del número de días necesarios para la apertura de la flor (antes) y la madurez en las zonas de Europa occidental donde los cambios fenológicos se están acelerando de una forma sustancial (ECCE, 2005). No obstante, el ritmo de la reducción de estas fases podría reducirse paulatinamente si se produce un mayor aumento de la temperatura debido a una reducción de la eficiencia de la fotosíntesis a altas temperaturas.

Recuadro 5.12 La fenología de la vid

La calidad del vino viene determinada por varios parámetros: la variedad de la uva, el rizoma, el tipo de suelo, las técnicas de cultivo y las características climáticas. Los tres primeros son generalmente constantes a lo largo del tiempo, mientras que las técnicas de cultivo son a menudo responsables de la variabilidad a largo plazo. El clima afecta a la variabilidad interanual y es responsable de las variaciones en la cantidad y la calidad de los vinos.

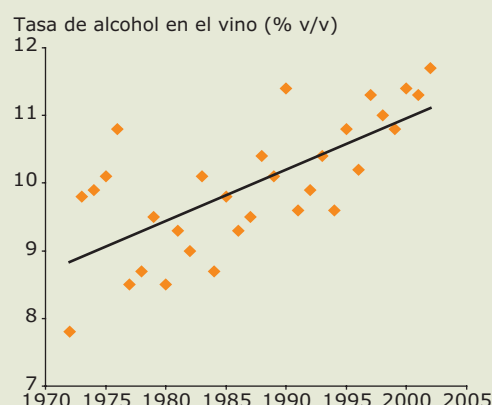
Las zonas productoras de vino, y en particular los mejores vinos, se limitan a regiones climáticamente adecuadas para el desarrollo de la uva, con una composición equilibrada y hasta el punto que reflejen su origen («tipicidad varietal»). Es necesario que se cumplan tres condiciones: (i) una acumulación de calor adecuada; (ii) un riesgo bajo de sufrir los daños ocasionados por el frío de las heladas; y (iii) la ausencia de un calor extremo. Además, las vides son resistentes a la disponibilidad limitada de agua en verano y es esencial que no llueva durante la vendimia, a fin de aumentar la concentración de azúcar y reducir el desarrollo de enfermedades.

El cambio climático observado durante los últimos años ha provocado un aumento general de la calidad del vino, debido, principalmente, al aumento de la temperatura y a la reducción de la precipitación, sobre todo durante la última fase del período de maduración, con un aumento gradual de los niveles potenciales de alcohol (Duchêne y Schneider, 2005). En el futuro es posible que se produzcan los siguientes impactos:

- cambio estacional: un adelanto de la fecha de todas las fases fenológicas con un aumento del riesgo de heladas y una reducción del período de maduración. Otro posible efecto es el hecho de que la vendimia tenga lugar durante períodos de temperaturas altas, con el consiguiente efecto perjudicial para la calidad del vino;
- expansión de las zonas productoras de vino, hacia el norte y hacia regiones más elevadas;
- estrés hídrico originado por una reducción del agua disponible;

- modificación de las plagas y desarrollo de enfermedades;
- aumento de la concentración de azúcar, obteniéndose un vino con un elevado grado de alcohol y baja acidez. La consecuencia es una reducción de la posibilidad de que envejezca el vino y una maduración fenológica más pobre;
- modificación de la composición de las levaduras naturales.

Figura 5.37 Grado potencial de alcohol en la vendimia de Riesling, en Alsacia (Francia) 1972–2003



Nota: Reimpreso con la autorización de Duchêne y Schneider, *Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace* («La vid y los cambios climáticos: una mirada a la situación de Alsacia»). Agron. Sustain. Dev. 25 (2005) 93–99. Copyright: 2005 INRA, EDP Sciences. Autorización concedida amablemente por el Dr. Eric Lichtfouse, Editor Jefe de Agronomy for Sustainable Development. <http://www.agronomy-journal.org>.

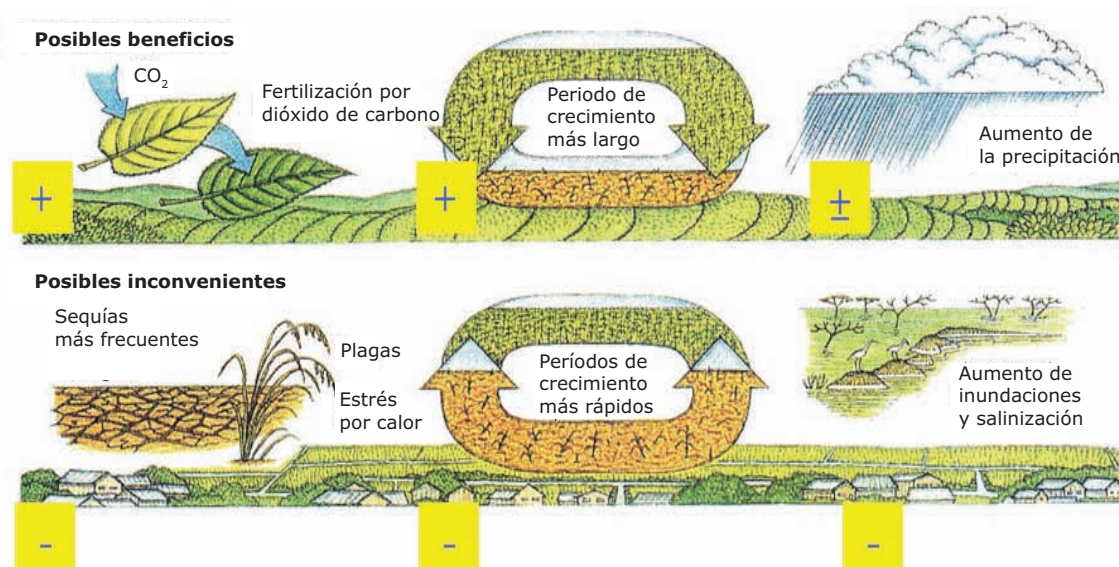
Fuente: Duchêne y Schneider, 2005.

5.9.4 Variabilidad del rendimiento de los cultivos

Mensajes clave

- Las variaciones de la productividad y la idoneidad de los cultivos en Europa es atribuible, en gran medida, al clima y a su variabilidad.
- Desde comienzos del siglo XXI, la variabilidad del rendimiento de los cultivos ha aumentado como consecuencia de fenómenos climáticos extremos como, por ejemplo, la ola de calor de 2003 y la sequía primaveral de 2007.
- Como consecuencia del cambio climático, está previsto que la frecuencia y la magnitud de estos fenómenos vayan en aumento y que el rendimiento de los cultivos sea cada vez más variable. Los cambios producidos en las prácticas agrícolas y en la gestión del suelo pueden actuar como medidas de mitigación del riesgo.

Figura 5.38 Procesos de un agroecosistema y un clima cambiante



Nota: Un clima cambiante afectará a los agroecosistemas de varias maneras, reportando beneficios o consecuencias negativas predominantes en las distintas regiones agrícolas. El aumento de las concentraciones de CO₂ atmosférico, el aumento de las temperaturas, los cambios en los patrones de precipitación y los cambios en la frecuencia de los fenómenos extremos tendrán efectos significativos sobre la producción de cultivos, con las consiguientes consecuencias para los recursos hídricos y las distribuciones de las plagas/enfermedades.

Fuente: Bongaarts, 1994.

Relevancia

El cambio climático aporta nuevas incertidumbres para el futuro del sector agrario. Está previsto que las condiciones climáticas sean cada vez más irregulares, con un incremento en la frecuencia de los fenómenos extremos (inundaciones, huracanes, olas de calor y sequías graves) (Parry, 2000). La producción de biomasa de las plantas y, por consiguiente, el rendimiento de los cultivos, vienen determinados fundamentalmente por las condiciones climáticas, es decir, por la disponibilidad estable de energía (radiación, temperatura) y de agua (lluvia) para sustentar el crecimiento. El rendimiento de los cultivos también se ve afectado por otros factores antropogénicos y ambientales como la fertilidad del suelo, las variedades de los cultivos y las prácticas agrícolas. Estos

factores implican que, en principio, existen diversas opciones de adaptación disponibles para ajustar las prácticas agrarias al cambio climático, pero que las oportunidades varían en función de las regiones.

Tendencias pasadas

Si bien la superficie cultivada en la mayor parte de Europa occidental ha descendido durante los últimos 40 años, el rendimiento de los cultivos ha aumentado de manera prácticamente constante (Eurostat).

Esta tendencia se ha mantenido en el siglo XXI, aunque la variabilidad en el rendimiento de los cultivos se incrementó como consecuencia de fenómenos meteorológicos extremos que se produjeron en un breve



Fotografía: © Pawel Kazmierczyk

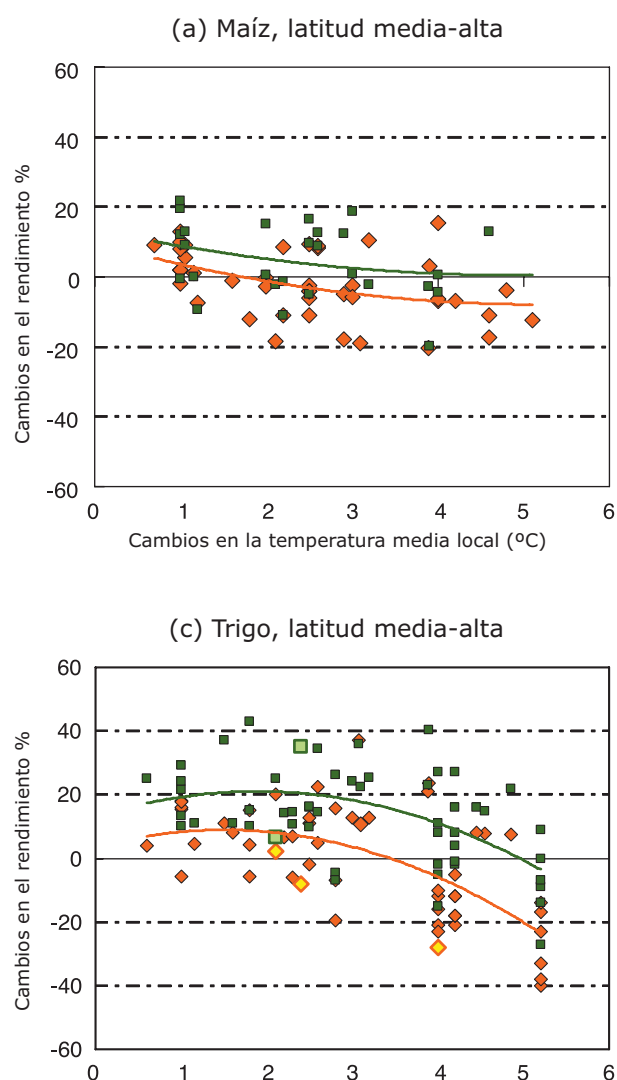
lapso de tiempo: una helada tardía en 2003 seguida de una grave sequía redujeron los rendimientos de los cereales en la mayor parte de Europa; una sequía en 2005 afectó gravemente a Europa occidental (Península Ibérica) y una sequía temprana sufrida en 2006 fue seguida de lluvias extremas durante el verano, lo que produjo un descenso de la producción de cereales, sobre todo en Europa oriental (CE, boletines MARS, 2008). Alexander *et al.* (2006) detectaron un aumento general de la intensidad de los fenómenos de precipitación observados a escala mundial. En la zona del Mediterráneo, donde la vulnerabilidad climática es elevada, varios estudios detectaron una tendencia ascendente hacia precipitaciones más intensas y a un descenso del total de precipitaciones (Alpert *et al.*, 2002; Maheras *et al.*, 2004; Brunetti *et al.*, 2004). En términos generales, no resulta fácil discernir entre los efectos del clima y los producidos por la mejora de las técnicas agrarias en el desarrollo de los rendimientos históricos de los cultivos. Es de esperar que una gestión adaptativa siga contribuyendo a reducir los riesgos que supone el cambio climático para los rendimientos agrícolas, así como a aprovechar mejor las oportunidades.

Proyecciones

Los efectos del aumento de la media de las temperaturas diarias sobre los rendimientos agrícolas dependen de su magnitud y de su ámbito geográfico. Las zonas de producción de algunos cultivos podrían extenderse hacia el norte en Europa, por ejemplo en el caso del maíz. Con un aumento de la temperatura media anual de 2°C, se espera que aumente el rendimiento de los cereales, debido en parte al efecto fertilizante del aumento del CO₂ (Parry *et al.*, 2004). Sin embargo, un aumento de 4°C o más reducirá el ciclo de los cultivos y el efecto del CO₂ no compensará la pérdida de rendimiento resultante. El rendimiento de los cultivos también está amenazado por un aumento de la intensidad de las precipitaciones y una prolongación de los períodos de sequía, en particular en las zonas colindantes con la cuenca mediterránea.

En la figura 5.39 se muestra la sensibilidad de los rendimientos del trigo y maíz al cambio climático, tal y como se infiere de los resultados de 69 estudios publicados y que abarcan diversos cambios en las precipitaciones y las concentraciones de CO₂ y varían respecto a la forma en que se representan las futuras alteraciones de la variabilidad climática. Las respuestas incluyen casos donde no ha habido adaptación (puntos rojos) y donde sí la ha habido (puntos de color verde oscuro). La adaptación representada en estos estudios incluye variaciones en las fechas de plantación y en las variedades de los cultivos, así como cambios de unas condiciones de riego por lluvia a regadíos

Figura 5.39 Sensibilidad del rendimiento de los cereales al cambio climático para el maíz y el trigo



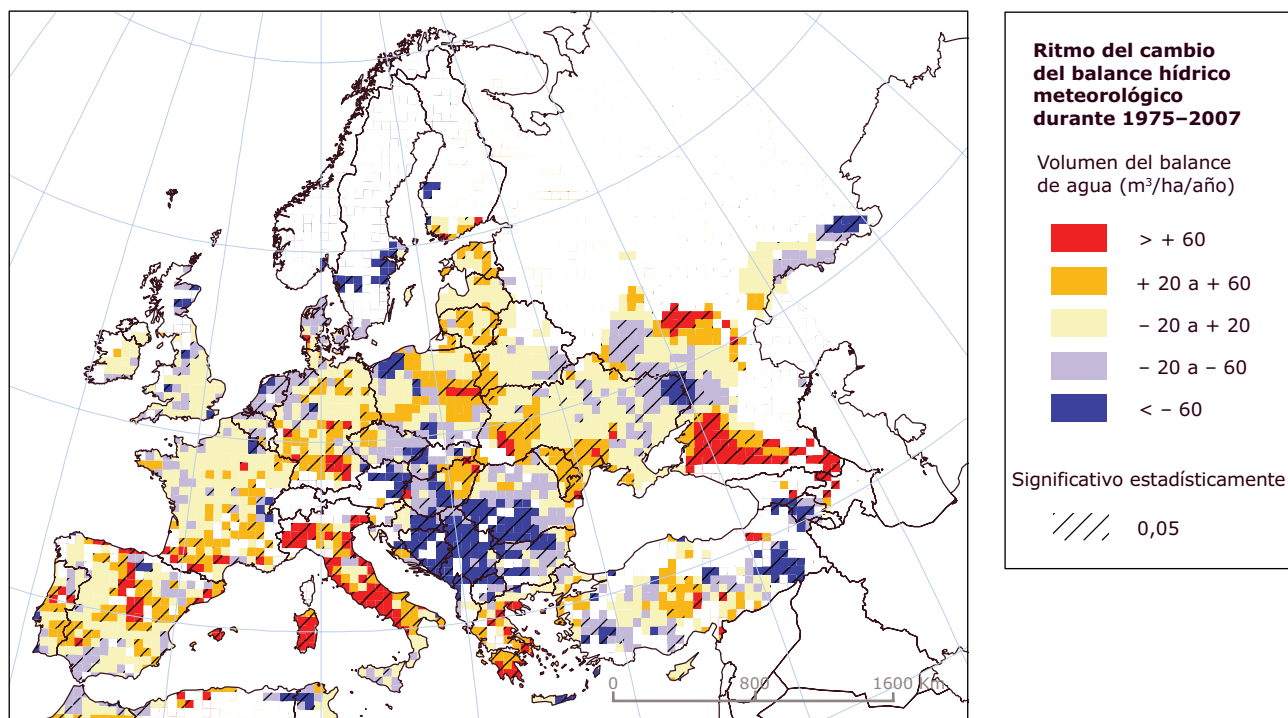
Note: Un leve aumento de la temperatura tiene un impacto positivo sobre el rendimiento de los cereales, mientras que un gran aumento (3–5°C) tiene un impacto negativo. Las líneas son polinomios de ajuste óptimo y se utilizan en este caso para sintetizar los resultados de los estudios en lugar de como herramienta de predicción.

Fuente: Eastering *et al.*, 2007. Publicado con la autorización del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

5.9.5 Necesidad de agua

Mensajes clave

- Entre 1975 y 2006 se observaron tendencias claras, tanto positivas como negativas, con respecto a la necesidad de agua en toda Europa, con una pronunciada variabilidad espacial. Se produjo un aumento significativo de la demanda de agua (50–70%) principalmente en las zonas del Mediterráneo, mientras que en las regiones septentrionales y centrales de Europa se registraron grandes descensos.
- Las tendencias actuales y los escenarios futuros apuntan a un aumento de la demanda de agua en la agricultura, aumentando potencialmente la competencia por este recurso entre los distintos sectores y usos.

Mapa 5.42 Ritmo del cambio del balance hídrico meteorológico durante 1975–2007

Nota: El ritmo del cambio del «balance hídrico meteorológico», expresado en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$. En el mapa se ofrece una estimación del aumento (en color rojo en el mapa) o del descenso (en color azul en el mapa) del volumen de agua necesario para regadío a fin de asegurar que el crecimiento del cultivo no se vea limitado por el estrés hídrico.

Fuente: Base de datos del proyecto MARS/STAT (Genovese, 2004a, 2004b).

Relevancia

El cambio climático podría afectar a la agricultura principalmente mediante el aumento del CO_2 atmosférico, el aumento de las temperaturas y el cambio en la precipitación. Cuando la precipitación no limita el crecimiento de los cultivos, estas condiciones propician un adelanto de las fechas de siembra y la mejora del crecimiento y el rendimiento de los cultivos (véanse los indicadores anteriores). Sin embargo, cuando se pronostica una reducción de la precipitación, el aumento de la necesidad de agua de riego puede tener un impacto general negativo en términos

económicos y ambientales. En estas zonas, se espera que el aumento de la escasez de agua aumente la competencia por dicho recurso entre distintos sectores (turismo, agricultura, energía, etc.), en particular en Europa meridional, donde la demanda de agua por parte del sector agrario alcanza su punto máximo. Para mitigar los riesgos de la escasez de agua se dispone de varias opciones de adaptación. El aumento del riego puede aumentar más la carga o presión sobre de los recursos hídricos superficiales y subterráneos y aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que se añade al reto que supone la mitigación.

Tendencias pasadas

Se carece de observaciones sistemáticas de la demanda de agua para uso agrícola a escala europea, aunque es posible reconstruir las tendencias locales con ayuda de datos meteorológicos. Por término medio, el ritmo de aumento de la demanda de agua oscila en torno a los 50 m³/ha/año, si bien en algunos casos (Italia, Grecia, Magreb, España central, sur de Francia y Alemania) supera los 150–200 m³/ha/año. En la Península de los Balcanes, la región Alpina, Escandinavia, Escocia, el Benelux, la República Checa, Eslovaquia, Polonia y Hungría, así como en numerosas zonas de Turquía se ha observado una tendencia ascendente en el balance hídrico (debido principalmente a un aumento de la precipitación). En la zona del Mediterráneo se ha observado un empeoramiento del déficit de agua meteorológica (balance hídrico descendente) durante los últimos 32 años.

Proyecciones

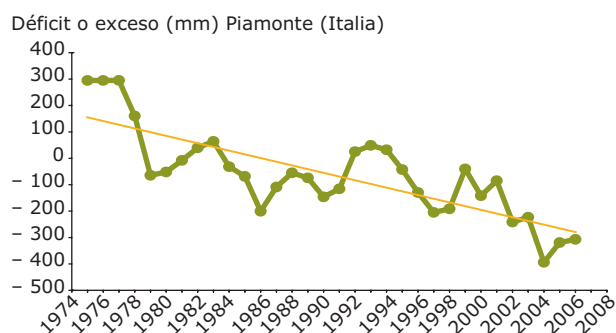
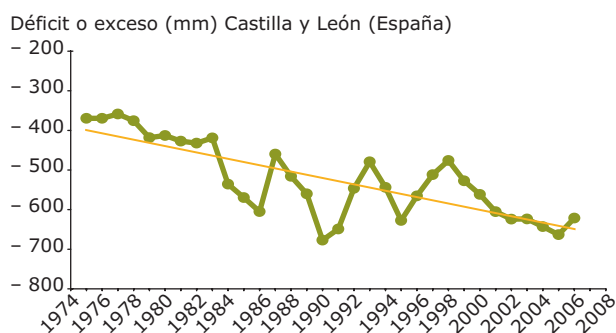
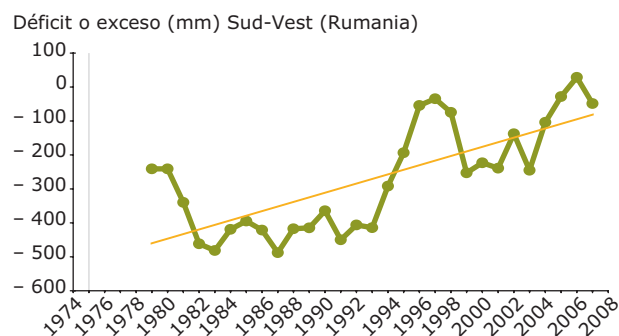
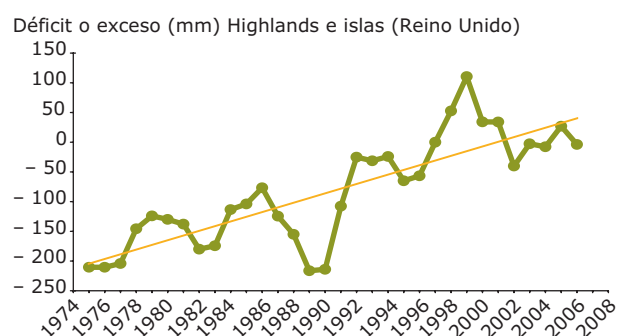
No se dispone de proyecciones cuantitativas de la demanda de riego. Diversas proyecciones climáticas para Europa (IPCC, 2007) prevén un muy probable aumento de las precipitaciones en el norte y un descenso en el sur, especialmente durante el verano. Se prevé asimismo un aumento de las precipitaciones extremas diarias en el norte y un descenso del número



Fotografía: © Jörg Rechenberg

anual de días de lluvia en el Mediterráneo (véase la sección 5.5.4). Por ello es previsible que aumente el riesgo de sequías estivales en Europa central y en la zona del Mediterráneo. Los cultivos agrícolas se verán afectados, entre otros factores, tanto positiva como negativamente, por los cambios producidos en la duración y el calendario del ciclo vegetativo. Habrá que adaptar la gestión de los cultivos con el fin de intentar evitar que las etapas cruciales de desarrollo sensibles al estrés hídrico (floración, llenado del grano, etc.) tengan lugar durante períodos generalmente secos.

Figura 5.40 Balance hídrico meteorológico en una serie de zonas de Europa 1975–2007



Nota: El exceso equivale a unos valores positivos en el balance hídrico meteorológico.

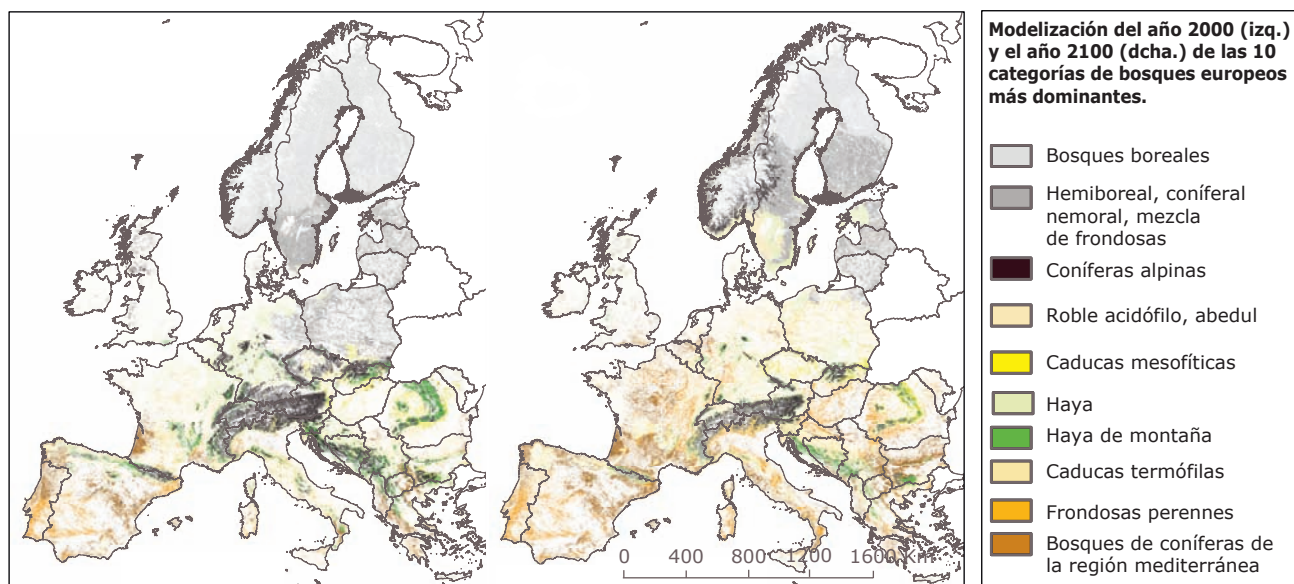
Fuente: Base de datos del proyecto MARS/STAT (Genovese, 2004a, 2004b).

5.9.6 Crecimiento forestal

Mensajes clave

- En gran parte de la Europa continental, la mayoría de los bosques están experimentando actualmente un crecimiento más acelerado que a comienzos del siglo XX.
- El cambio climático favorecerá a determinadas especies que habitan en determinados emplazamientos forestales, mientras que empeorarán las condiciones para otras, con los consiguientes cambios sustanciales en la distribución vegetal.
- Se prevé que se produzcan cambios en la distribución y la fenología de otras especies vegetales y animales (tanto plagas como polinizadores), produciéndose así alteraciones en la dinámica competitiva de los bosques que serán difíciles de predecir.
- Los períodos de sequía y los inviernos cálidos están aumentando las poblaciones de plagas y debilitando más los bosques.

Mapa 5.43 Cubierto forestal actual (2000) y prevista (2100) en Europa



Nota: Modelizado para evaluar el cambio de la cobertura de la idoneidad de los hábitats de las diez categorías forestales predominantes en Europa (AEMA, 2006) utilizadas en el escenario A1B del IE-EE del IPCC y en el modelo CCM3 del NCAR.

Fuente: Casalegno *et al.*, 2007.

Relevancia

Los bosques contienen el 77% de las reservas mundiales de carbono en forma de biomasa vegetal y, por tanto, desempeñan una función importante en el ciclo global del carbono (Dixon *et al.*, 1994; IPCC, 2007). Los bosques y los terrenos boscosos proporcionan muchos elementos de gran valor para la sociedad, como alimentos, productos comercializables, medicinas, biodiversidad, reservas de carbono y oportunidades de ocio. Además, regulan los ciclos biogeoquímicos y contribuyen a la conservación del suelo y del agua. Es previsible que las alteraciones en el clima mundial y la composición atmosférica repercutan sobre la mayor parte de dichos

bienes y servicios, con impactos significativos sobre los sistemas socioeconómicos (Winnett, 1998).

La gestión influye considerablemente en el desarrollo de las existencias y de la productividad forestal. Entre las medidas de adaptación se incluyen los cambios en las prácticas de plantación y en la gestión forestal, la plantación de distintas mezclas de especies, un mejor ajuste entre las especies y cada lugar concreto, la plantación de especies similares a la de los lugares de origen y de especies no nativas como medida de anticipación al cambio climático ((Broadmeadow *et al.*, 2003), así como la restauración de las tipologías forestales que podrían proporcionar mayor flexibilidad al cambio climático (Kölling, 2008).

Tendencias pasadas

Durante varios siglos, la mayor parte de los bosques europeos fueron sobreexplotados. Los ritmos de crecimiento se redujeron y las reservas de biomasa se agotaron hasta mediados del siglo XX, cuando se empezaron a recuperar los ritmos de crecimiento (Spieker *et al.*, 1996). Una buena parte de dicho aumento puede atribuirse a los progresos realizados en las prácticas de gestión forestal, a la mejora genética y, en Europa central, al cese de prácticas que degradan los emplazamientos, tales como la recogida de hojarasca para su utilización como combustible. También es muy probable que el aumento de las temperaturas y de las concentraciones de CO₂, la deposición de nitrógeno y la reducción de la contaminación atmosférica (SO₂) hayan obrado un efecto positivo sobre el crecimiento forestal. El hecho de que los árboles responden al cambio climático no es nuevo: las variaciones anuales en la anchura de los anillos se considera una fuente importante de información climática (véase el capítulo 2).

Varios estudios han señalado ya la existencia de cambios en las fechas de la brotación, prolongándose de este modo los períodos de crecimiento de varias especies (véase la sección 5.7.3), cambios en el límite de la vegetación arbórea y cambios en la distribución de las especies (véase la sección 5.7.2). Ya se ha observado un desplazamiento nororiental de categorías forestales en especies forestales europeas (Bakkenes *et al.*, 2002; Harrison *et al.*, 2006).

Proyecciones

El crecimiento de los árboles se controla mediante una serie de interacciones complejas entre factores climáticos y no climáticos, influyendo también considerablemente la gestión forestal. Entre las posibles respuestas futuras de los bosques al cambio climático figuran el aumento del ritmo de crecimiento,

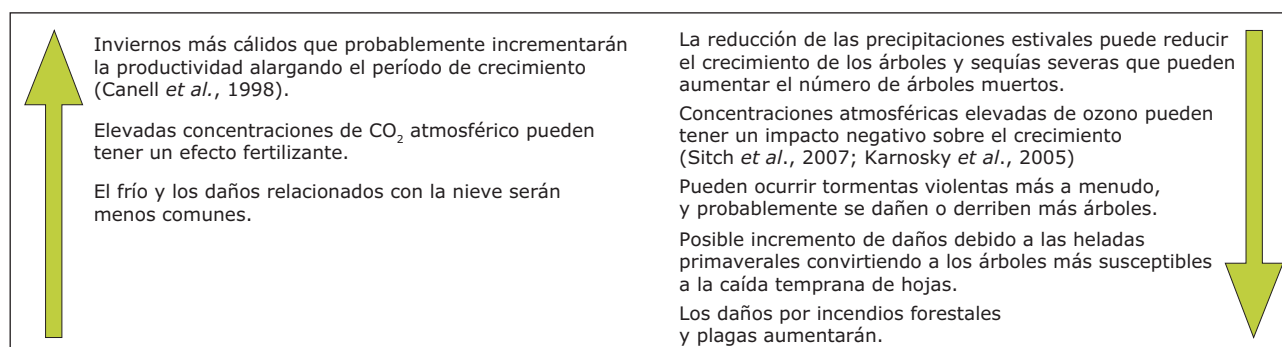


Fotografía: © Pawel Kazmierczyk

el desplazamiento de los límites de la vegetación arbórea, cambios en el crecimiento forestal, fenología, composición de las especies, aumento de los incendios (véase la sección 5.9.7), sequías más graves en algunas zonas, aumento de los daños producidos por las tormentas y aumento de los daños producidos por insectos y patógenos (Eastaugh, 2008). Todos estos factores en conjunto probablemente pueden modificar los patrones de cobertura forestal. La simulación del escenario A1B del IE-EE del IPCC para el período 2070–2100 muestra una tendencia general al desplazamiento desde el suroeste hacia el noreste en los hábitats idóneos de categorías forestales (Casalegno *et al.*, 2007).

Aunque está previsto que el cambio climático tenga un efecto global positivo sobre el crecimiento de las existencias en Europa septentrional, también se prevén efectos negativos en algunas regiones (por ejemplo, las sequías y los incendios constituyen un riesgo cada vez mayor para los bosques mediterráneos), lo que dificulta la formulación de proyecciones globales.

Figura 5.41 Impactos del cambio climático sobre el crecimiento de los bosques y las condiciones forestales



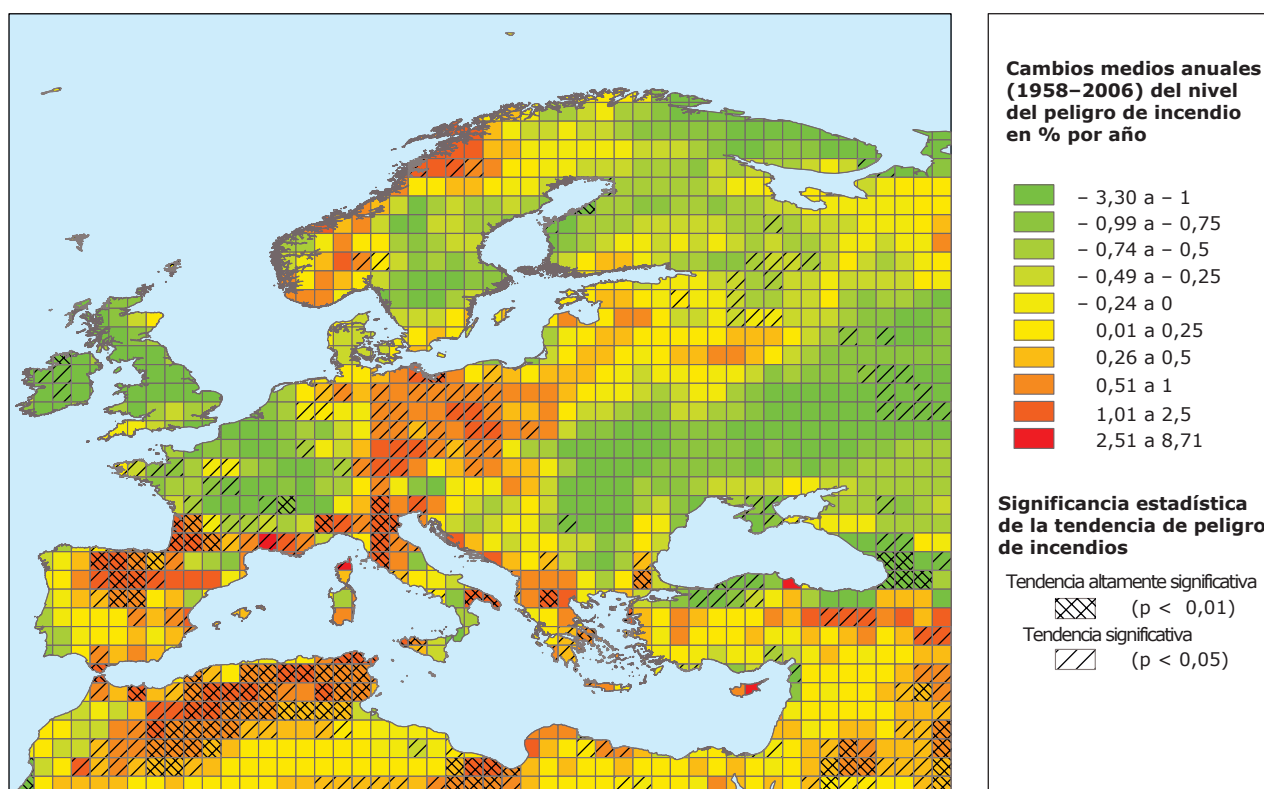
Fuente: Elaborado por Tracy Houston Durrant (Centro Común de Investigación, CCI) para este informe.

5.9.7 Peligro de incendios forestales

Mensajes clave

- En los climas más cálidos se espera que las condiciones meteorológicas que influyen en los incendios se agraven y, como consecuencia, aumente la superficie abrasada, aumentando las igniciones y prolongándose los períodos de incendio.
- El cambio climático aumentará el potencial de incendios durante los meses estivales, sobre todo en Europa central y septentrional.
- El período en el que existe peligro de incendio será más largo como consecuencia del cambio climático, con un incremento probable de la frecuencia de días de peligro de incendio extremo en primavera y en otoño.

Mapa 5.44 Cambios medios anuales en el nivel del peligro de incendio, 1958–2006



Note: Basado en el uso de la clasificación de la gravedad estacional. El mapa muestra el aumento del peligro de incendio en forma de porcentaje de un valor histórico absoluto, que no se muestra en la figura.

Fuente: Camia *et al.*, 2008.

Relevancia

Los incendios forestales constituyen una grave amenaza para los bosques y los ecosistemas de Europa y el clima es la fuerza motriz más importante que afecta a los cambios en el potencial de incendios a lo largo del tiempo (Flannigan *et al.*, 2000). Aunque en términos generales se considera que, en Europa, los incendios forestales tienen fundamentalmente su origen en causas de carácter antropogénico, la superficie quemada total

varía considerablemente de año en año debido en gran medida a las condiciones meteorológicas. Los cambios en los regímenes de los incendios pueden repercutir gravemente sobre la estabilidad de los ecosistemas y los recursos naturales, con las consiguientes pérdidas económicas, directas e indirectas. Por otro lado, unas prácticas de gestión activas de los incendios y los bosques pueden contrarrestar hasta cierto punto los impactos de un clima cambiante.

Tendencias del pasado

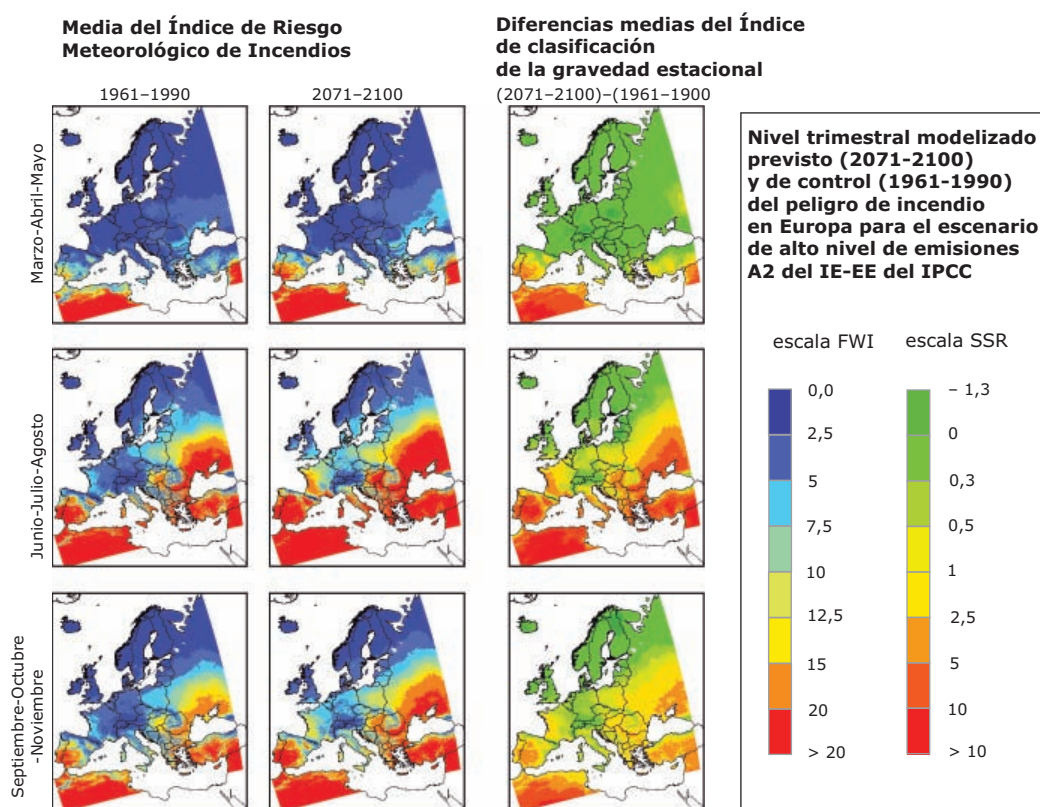
El riesgo de incendio depende de numerosos factores de carácter muy diverso que varían con el paso del tiempo (por ejemplo, la meteorología, la carga de combustible, el tipo y la condición del combustible, las prácticas de gestión forestal y el contexto socioeconómico). Las series históricas de incendios pueden servir para respaldar las afirmaciones sobre las tendencias, pero, lamentablemente, en Europa apenas se dispone de series históricas consistentes de larga duración sobre incendios. Además, centrándose únicamente en las series históricas sobre incendios, es difícil componer una imagen global y reconocer el efecto del clima sobre el fuego potencial. Por el contrario, los índices meteorológicos de peligro de incendio, diseñados para clasificar el componente del riesgo de incendio que depende de las condiciones climáticas, pueden resultar de gran utilidad a la hora de analizar las tendencias de una forma coherente durante largos períodos de tiempo. Estos índices, aplicados normalmente sobre una base diaria, pueden resumirse sobre una base estacional para clasificar el potencial global de incendios de un año concreto (gravedad del fuego estacional) a causa de las condiciones meteorológicas. El índice de clasificación de la gravedad estacional deriva de los valores diarios del Índice de

Riesgo Meteorológico de incendios de Van Wagner (1987), el método de evaluación del peligro de incendio más utilizado a escala mundial (San Miguel-Ayán *et al.*, 2003). En el mapa 5.44 se muestran los resultados de un estudio realizado recientemente sobre el desarrollo de la clasificación de la gravedad estacional. Se hizo un cómputo de la tendencia media durante el período 1958–2006 para todas las celdillas, pero sólo era significativa desde el punto de vista estadístico en el 21% de los casos (15% positivos y 6% negativos), que parecen concentrarse en una serie de zonas geográficas específicas.

Proyecciones

Las proyecciones se obtuvieron del escenario A2 del IE-EE del IPCC, procesando datos del archivo de datos PRUDENCE, concretamente los datos de alta resolución (12 km) del modelo HIRHAM ejecutado por el modelo DMI, para los períodos 1960–1990 (control) y 2070–2100 (proyecciones) (véase el mapa 5.45). Según una evaluación similar realizada para América del Norte (Flannigan *et al.*, 2005), los resultados para Europa confirman un aumento significativo del potencial de incendios, un aumento de la zona proclive a los incendios y una prolongación de la época de incendios.

Mapa 5.45 Niveles trimestrales modelizados del peligro de incendio en Europa para 1961–1990 y 2071–2100 y cambio entre dichos períodos



Nota: Basado en el modelo de alto nivel de emisiones A2 del IE-EE del IPCC y en el modelo HIRAM. No se muestra el peligro de incendio en los meses invernales (diciembre, enero y febrero) por ser insignificante.

Fuente: Camia *et al.*, 2008.

5.10 Salud humana

5.10.1 Introducción

El cambio climático interviene ya en el número de víctimas de enfermedades y muertes prematuras que se registran en todo el mundo. Los seres humanos están expuestos al cambio climático a través del cambio en las pautas meteorológicas (temperatura, precipitaciones, elevación del nivel del mar y mayor frecuencia de los fenómenos extremos) e indirectamente a través de los cambios que afectan a la calidad del agua, el aire y los alimentos, así como los cambios en los ecosistemas, la agricultura, la industria, los asentamientos y la economía. En esta fase inicial, los efectos son leves, pero se prevé que aumentarán progresivamente en todos los países y regiones (Confalonieri *et al.*, 2007).

Afloran indicios sobre los efectos del cambio climático en la salud humana. Por ejemplo, durante las últimas décadas, el calentamiento climático ha alterado la distribución de ciertos vectores de enfermedades infecciosas, ha alterado la distribución estacional de varias especies de polen alergénico y ha incrementado la frecuencia y la intensidad de las olas de calor. A más largo plazo, es factible que se produzcan un gran número de impactos graves sobre la salud, incluidos un mayor número de fallecimientos, enfermedades y trastornos provocados por las olas de calor, inundaciones, tormentas, incendios y sequías, variación del radio de actuación de diversos vectores de enfermedades infecciosas y un aumento de las enfermedades diarreicas provocado por los cambios en la cantidad y la calidad del agua (IPCC, 2007b). En determinadas zonas de Europa podrían obtenerse algunos beneficios para la salud, como por ejemplo un descenso de las muertes causadas por el frío. No obstante, se espera que estos beneficios se vean



Fotografía: © Pawel Kazmierczyk

superados por los efectos negativos del aumento de las temperaturas en todo el mundo.

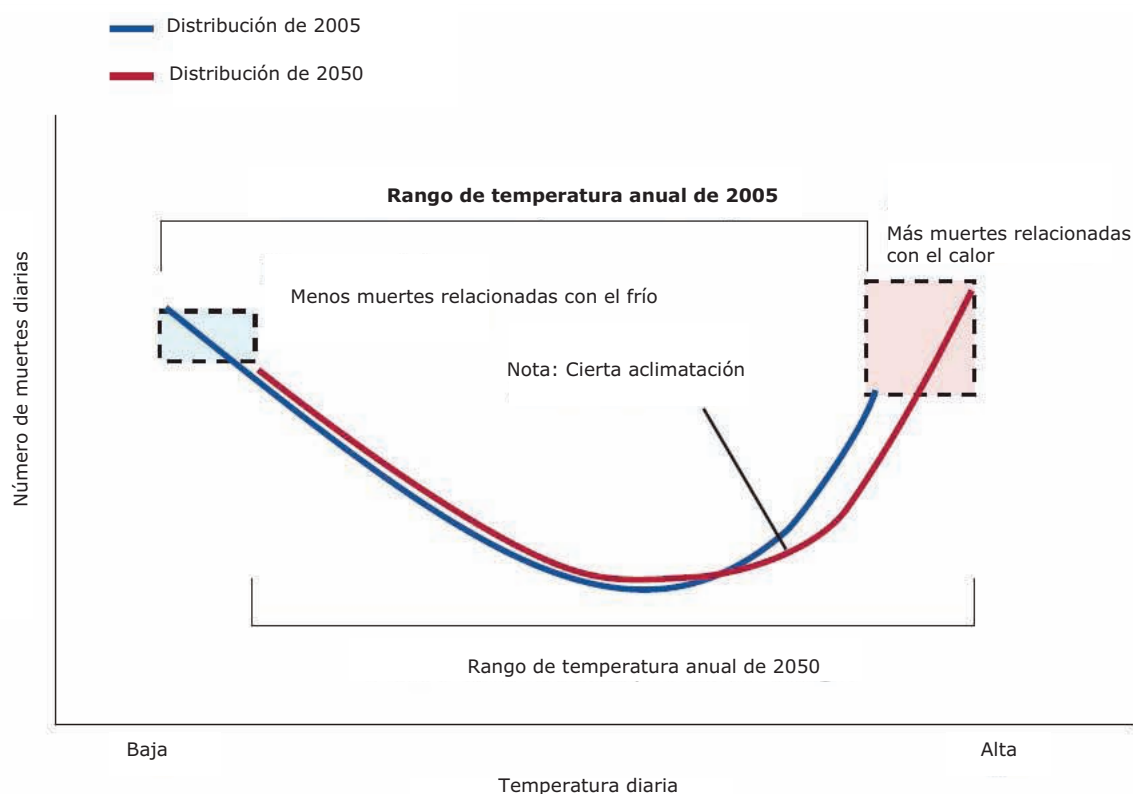
Este capítulo describe una serie de problemas sanitarios relacionados con el clima en Europa. En él se brinda información no basada meramente en indicadores sino también en publicaciones científicas especializadas. Se han llevado a cabo estudios epidemiológicos sobre los impactos para la salud de fenómenos extremos concretos (por ejemplo las olas de calor o las inundaciones), estudios espaciales en los que el clima es una variable explicativa de la distribución de la enfermedad o el vector de la enfermedad, y estudios temporales en los que se evalúan las repercusiones de la variabilidad climática sobre la salud, incluidos los cambios experimentados diariamente por la temperatura o la pluviosidad. Mucho más limitado es el número de estudios emprendidos con el fin de investigar la eficacia de las medidas adoptadas en la esfera de la salud pública para proteger a la población contra el cambio climático en el futuro.

5.10.2 El calor y la salud

Mensajes clave

- El aumento de las temperaturas podrá ir acompañado de un aumento del número de muertes relacionadas con el calor. El riesgo de mortalidad aumenta entre un 0,2 y un 5,5% por cada grado centígrado que aumenta la temperatura más allá de un umbral en un punto específico.
- Las olas de calor pueden tener efectos perjudiciales para la salud humana. Durante el verano excepcionalmente cálido de 2003 (de junio a septiembre), en 12 países europeos se notificaron un total de 70.000 muertes por encima de los registros habituales. Las olas de calor prolongadas (de más de 5 días de duración) tienen un impacto entre 1,5 y 5 veces superior al de los fenómenos de menor duración.
- En los Estados miembros de la UE se prevé un total de 86.000 muertes adicionales al año, para un escenario de alto nivel de emisiones con un incremento de la temperatura media en el mundo de 3°C durante el período 2071–2100 con respecto al período 1961–1990.

Figura 5.42 Relación entre el número de muertes diarias vinculadas a la temperatura y la temperatura diaria



Note: Representación esquemática del modo en que un aumento de la temperatura media anual afectaría al número total de muertes relacionadas con la temperatura, desplazando la distribución de las temperaturas diarias a la derecha. Un aumento de las muertes relacionadas con el calor durante el verano anularía el número adicional de muertes evitadas durante el invierno (como podría suceder en algunos países de Europa septentrional). El rango de la temperatura media diaria en los países templados oscilaría en torno a los 5 y los 30°C (McMichael, 2006).

Fuente: McMichael, 2006.

Relevancia

Existe una temperatura óptima en la que el índice (diario o semanal) de mortalidad entre la población se sitúa en cotas inferiores. Los índices de mortalidad aumentan cuando las temperaturas se sitúan fuera de esta zona ideal. La figura 5.42 muestra una relación teórica típica en U/J y resultante de la evaluación practicada en seis ciudades europeas en el marco del proyecto PHEWE.

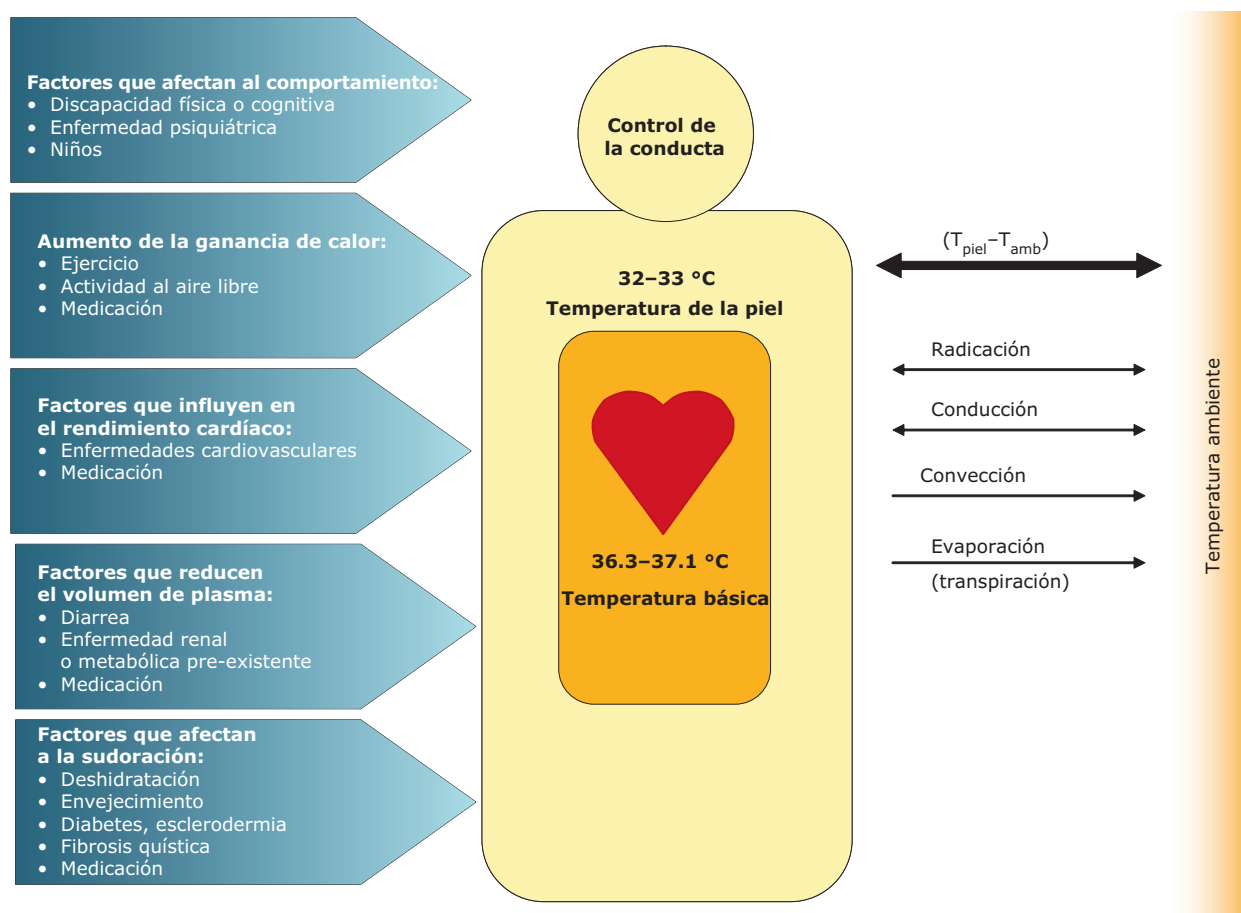
La depresión representa la zona ideal; la sección con una inclinación más pronunciada (a la derecha) de cada línea muestra el incremento de la mortalidad a temperaturas elevadas y la sección izquierda de cada línea muestra el incremento a bajas temperaturas. En general, el impacto del calor y de las olas de calor depende del grado de exposición, el tamaño y la estructura de la población expuesta, la sensibilidad de la población, la preparación

de los sistemas sanitarios y las medidas de prevención adoptadas. En los países templados existe una variación estacional de la mortalidad, mayor en invierno que en verano. No puede afirmarse con certeza que las reducciones de la mortalidad invernal observadas actualmente sean atribuibles al cambio climático (Confalonieri *et al.*, 2007). Las personas que padecen enfermedades cardiovasculares están expuestas a un mayor riesgo en invierno debido a que el frío tiende a inducir la coagulación sanguínea.

Durante las décadas recientes, las olas de calor han provocado una considerable mortalidad en Europa. No obstante, no es fácil comparar los efectos de las olas de calor dentro de un arco temporal y continental. El calor afecta directamente a la fisiología humana: en condiciones de estrés térmico, la termorregulación pasa obligatoriamente por un sistema cardiovascular en condiciones saludables. Cuando el calor ambiental supera el mecanismo defensivo del organismo, aumenta la temperatura básica del cuerpo y pueden producirse trastornos o la muerte debida a un golpe de calor, una insuficiencia cardíaca o muchas otras causas (figura 5.43).

Varios factores sanitarios pueden incrementar el riesgo de mortalidad provocada por olas de calor, como la deshidratación, el consumo de medicamentos, el envejecimiento o alguna enfermedad crónica que afecte al funcionamiento cardíaco o al flujo sanguíneo en la piel, o que implique la obligación de guardar cama. Factores sociológicos, como el aislamiento social, podrían ser no menos importantes, si bien no abundan las investigaciones al respecto en Europa (véase la figura 5.43; Bouchama, 2007). También se han evaluado múltiples factores ligados al entorno urbano y la vivienda, con especial atención al papel que juegan cuando los hogares alcanzan temperaturas elevadas (Kovats y Hajat, 2008). Suscitan especial preocupación las temperaturas interiores de los centros de atención sanitaria y las residencias de ancianos. A medida que aumenta la edad de la población, aumentará la proporción de personas en situación de riesgo (Confalonieri *et al.*, 2007). Será necesario tomar medidas en el ámbito del sistema sanitario con el fin de planificar adecuadamente la ubicación de los centros destinados a la atención sanitaria y al cuidado de ancianos, así como la protección térmica de sus instalaciones.

Figura 5.43 Factores que afectan a la termorregulación humana y riesgo de padecer enfermedades relacionadas con el calor



Fuente: Matthies *et al.*, 2008 (adaptación de Bouchama, 2007).

El proyecto EuroHEAT concluyó que las enfermedades y defunciones relacionadas con el calor son en gran medida evitables. A largo plazo, la medida más importante consistirá en mejorar la arquitectura y la planificación urbana, así como las políticas energéticas y de transporte. Dichas mejoras deben iniciarse ya, pues la formulación de políticas requiere mucho tiempo. Los efectos de las olas de calor pueden combatirse manteniendo baja la temperatura interior de las viviendas, resguardándose del calor, manteniendo la hidratación corporal así como brindando ayuda a quienes pueden necesitarla. Es fundamental planificar la preparación de los sistemas sanitarios, mediante la colaboración con los servicios meteorológicos proporcionando alertas sanitarias de carácter meteorológico, oportunas y precisas y elaborando estrategias para reducir el grado de exposición individual y colectiva al calor, especialmente entre las poblaciones vulnerables, la planificación de los servicios y las infraestructuras sociales y sanitarias y proporcionando información oportuna a la población (Matthies *et al.*, 2008).

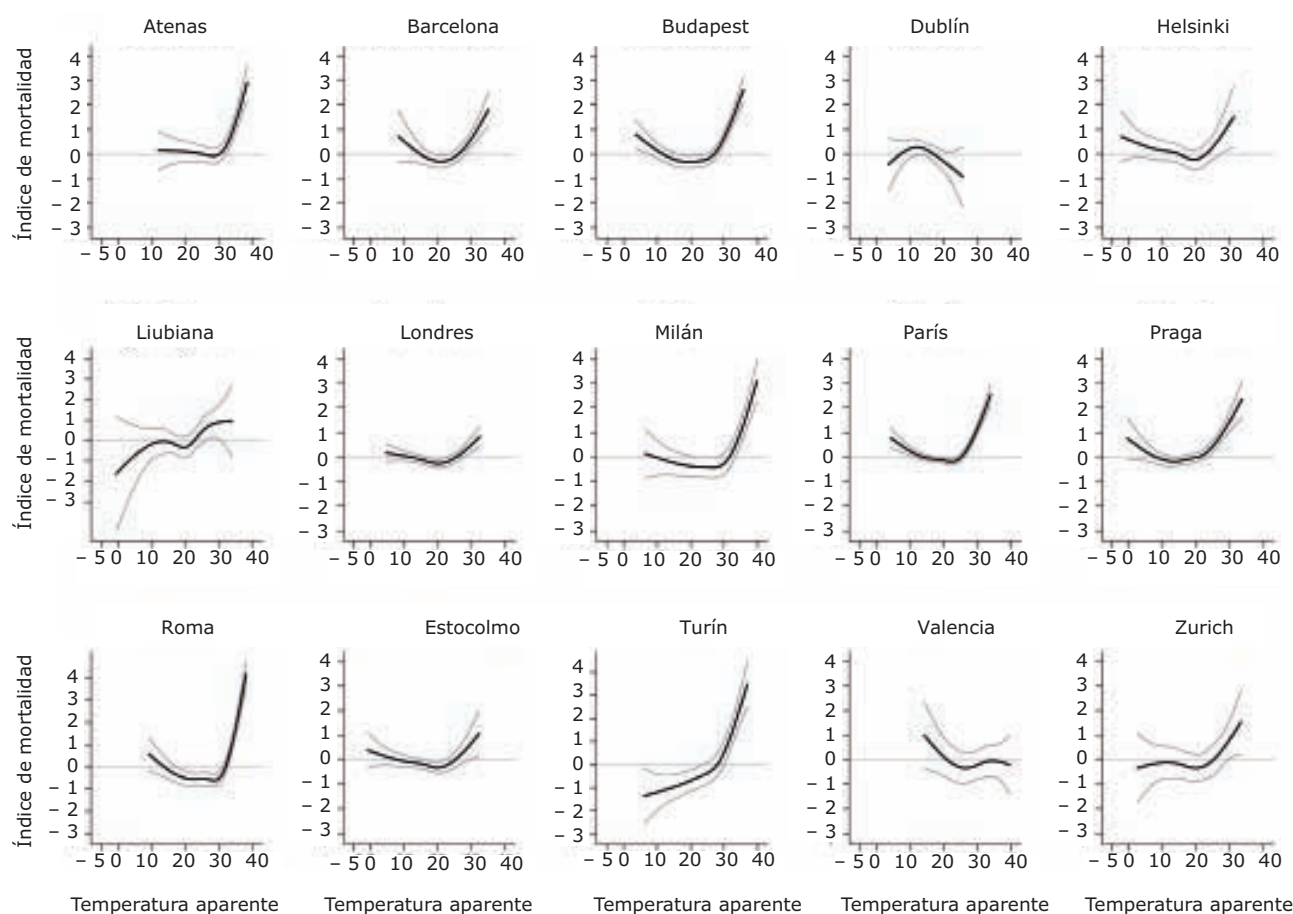
Tendencias pasadas

Múltiples estudios epidemiológicos han cuantificado el impacto de la temperatura sobre la mortalidad diaria. En todas las ciudades europeas, la mortalidad se incrementa en cuanto se supera un umbral de temperatura concreto. Este umbral depende específicamente de cada lugar (véase la figura 5.44).

La variación que experimenta el riesgo de mortalidad por cada grado que aumente la temperatura una vez superado el umbral específico de cada ubicación oscila entre el 0,2 y el 5,5% (Kovats *et al.*, 2006; Baccini *et al.*, 2008).

En la mayoría de los países europeos, los índices de mortalidad que se registran en invierno son entre un 5 y 30% más elevados que los registrados en verano. La mortalidad invernal ha disminuido en muchas poblaciones europeas desde la década de 1950 (Kunst *et al.*, 1991; Lerchl, 1998; Carson *et al.*, 2006).

Figura 5.44 Índices de mortalidad diaria en 15 ciudades europeas por temperatura aparente durante el verano



Nota: Las estimaciones específicas de cada ciudad de los parámetros relevantes se obtuvieron de datos de 15 años (1990–2004) mediante la especificación de un modelo Poisson marginal para el recuento de muertes diario. Para combinar los resultados específicos de cada ciudad se utilizaron modelos bayesianos de meta-análisis de efectos aleatorios.

Fuente: Baccini *et al.*, 2008.

El número de días fríos, noches frías y heladas ha venido escaseando cada vez más, si bien ello sólo explica una pequeña parte de esta reducción: más importante ha sido el papel jugado por la mejora de la calefacción doméstica, de la salud en general y de la prevención y el tratamiento de las infecciones invernales (Carson *et al.*, 2006).

Entre los meses de junio y septiembre de 2003, se registraron en 12 países europeos 70.000 muertes por encima de la media registrada entre 1998 y 2002 (Robine *et al.*, 2007). Si bien no es posible achacar totalmente dicho aumento a las olas de calor de 2003, ya que carecemos de otros factores explicativos, es posible que la mayor parte de estas muertes fueran causadas por las distintas olas de calor que se vivieron durante dicho año. Se ha demostrado que la época, la intensidad y la duración de las olas de calor influye en las cifras de mortalidad. Los impactos de las olas de calor caracterizadas por una duración prolongada fueron entre 1,5 y 5 veces superiores a los producidos por olas de calor más breves (Matthies *et al.*, 2008).

Las grandes olas de calor se asocian asimismo a otras amenazas para la salud, como la contaminación atmosférica, los incendios forestales, los fallos en el suministro de agua, alimentos y electricidad, que también repercuten sobre la actuación de la salud pública. El efecto combinado de las olas de calor y de los valores máximos de contaminación atmosférica debidos al ozono o a partículas con un diámetro inferior a 10 μm (PM10) provoca un aumento de la mortalidad. Cada vez más pruebas vienen a avalar que, durante las olas de calor, la mortalidad diaria es más acusada cuando los niveles de ozono o PM10 son elevados, sobre todo entre las personas mayores (75 - 84 años). En nueve ciudades europeas, el número total de defunciones diarias dentro del grupo de edad entre 75 - 84 años se incrementó un 10,6% durante las olas de calor cuando los niveles de ozono eran bajos, y en un 16,2% cuando eran altos, los porcentajes de PM10 fueron 10,5 y 14,3% respectivamente (Analitis y Katsouyanni, en imprenta). El aumento de la mortalidad como consecuencia del efecto conjunto del calor y de la contaminación atmosférica puede reducirse si disminuye la exposición al ozono y a PM10 durante los días de calor.

Las olas de frío siguen planteando un problema cuando se alcanzan temperaturas muy bajas en pocas horas que se prolongan durante periodos largos. La exposición accidental al frío en climas fríos y templados se produce fundamentalmente en el exterior y entre los socialmente desfavorecidos (alcohólicos y personas sin hogar), los trabajadores y los ancianos (Ranhoff, 2000). La vida en los entornos fríos de las regiones polares está asociada a una serie de enfermedades crónicas entre la población no autóctona, así como a un riesgo agudo de congelación e hipotermia (Hassi *et al.*, 2005). En países donde la población está bien adaptada al frío, las olas de frío pueden provocar, no obstante, incrementos de la



Fotografía: © Waltraud Grubitzsch, dpa, 2003

mortalidad cuando falla la red eléctrica o los sistemas de calefacción.

Proyecciones

Se prevé que la morbilidad y la mortalidad asociadas al calor aumenten. En varios ejercicios de evaluación a nivel nacional se han realizado cálculos de mortalidad asociada al calor sirviéndose de diversos escenarios climáticos e hipótesis relativas a la población y la adaptación. En el Reino Unido, se espera que las 800 defunciones anuales asociadas al calor y registradas en la década de los noventa pasen aproximadamente a 2.800 entre 2050 y 2060 y alrededor de 3.500 entre 2080 y 2090 en el escenario de nivel medio-alto. En este mismo escenario, las muertes anuales relacionadas con el frío descienden de las 80.300 aproximadamente registradas en la década de los noventa a las 60.000 previstas entre 2050 y 2060 y a las 51.200 entre 2080 y 2090 (Donaldson *et al.*, 2001). En Alemania, está previsto que la mortalidad asociada con el calor aumente un 20%. No es previsible que dicho aumento se vea contrarrestado por las reducciones experimentadas en la mortalidad asociada con el frío (Koppe *et al.*, 2003). En Portugal, el aumento previsto de la mortalidad relacionada con el calor pasaría desde una base de referencia de 5,4 a 6 por 100.000 hasta situarse entre 19,5 y 248 por 100.000 entre 2080 y 2090 (Dessai, 2003).

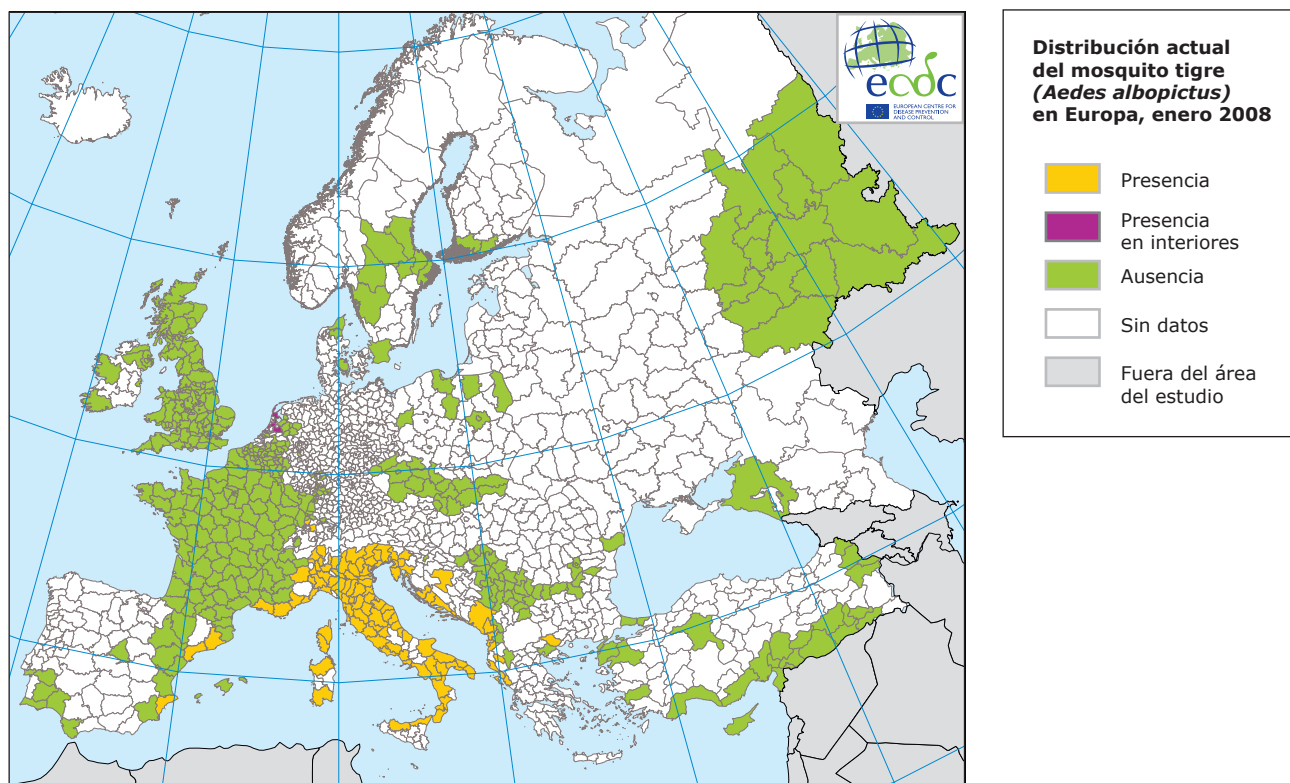
En el caso de los Estados miembros de la UE-27, el estudio PESETA pronosticó un total de casi 86.000 defunciones adicionales al año durante el período 2071-2100, frente a la media del período 1961-1990 de la UE-25, para un escenario de alto nivel de emisiones (escenario A2 del IE-EE del IPCC, véase el capítulo 4) con un aumento de la temperatura media mundial de 3°C (CE, 2007). Se trata de resultados preliminares, no asumen ningún ajuste fisiológico y no diferencian el impacto de los cambios no climáticos (cambios socioeconómicos en la estructura de edad o en los desplazamientos de la población). El estudio se basa en hipótesis sobre una relación entre la mortalidad y la temperatura que no toma en consideración las diferencias existentes entre los países mediterráneos y los de Europa septentrional.

5.10.3 Enfermedades transmitidas por vectores

Mensajes clave

- El mosquito tigre, un transmisor de diversos virus, ha ampliado su ámbito de actuación en Europa sustancialmente durante los últimos 15 años y está previsto que lo amplíe todavía más. Existe el riesgo de brotes adicionales de Chikungunya y el potencial de reaparición localizada del dengue.
- Las garrapatas y las enfermedades a ellas asociadas como la enfermedad de Lyme y la encefalitis transmitida por la garrapata se están desplazando hacia altitudes y latitudes más altas.
- En varios países europeos se están produciendo cambios en la distribución geográfica del flebótomo vector (grado de confianza alto) y existe un riesgo de leishmaniasis en humanos en zonas más septentrionales.
- Los aumentos de temperatura previstos en el Reino Unido podrían generar un aumento del riesgo de transmisión local de la malaria entre un 8 y un 15%. En Portugal se prevé un aumento significativo del número de días aptos para la supervivencia de los vectores de la malaria. No obstante, el riesgo de transmisión localizada de la malaria es bajo.

Mapa 5.46 Presencia del *Aedes albopictus* (mosquito tigre) en Europa en enero 2008



Nota: Elaborado por Francis Schaffner (BioSys Consultancy, Zúrich), en colaboración con Guy Hendrickx/Ernst-Jan Scholte (Avia-GIS, Zoersel, Bélgica) y Jolyon M Medlock (Agencia de Protección de la Salud, Reino Unido) para el proyecto TigerMaps del CEPCE. © Centro Europeo para la Prevención y el Control de las Enfermedades, 2008

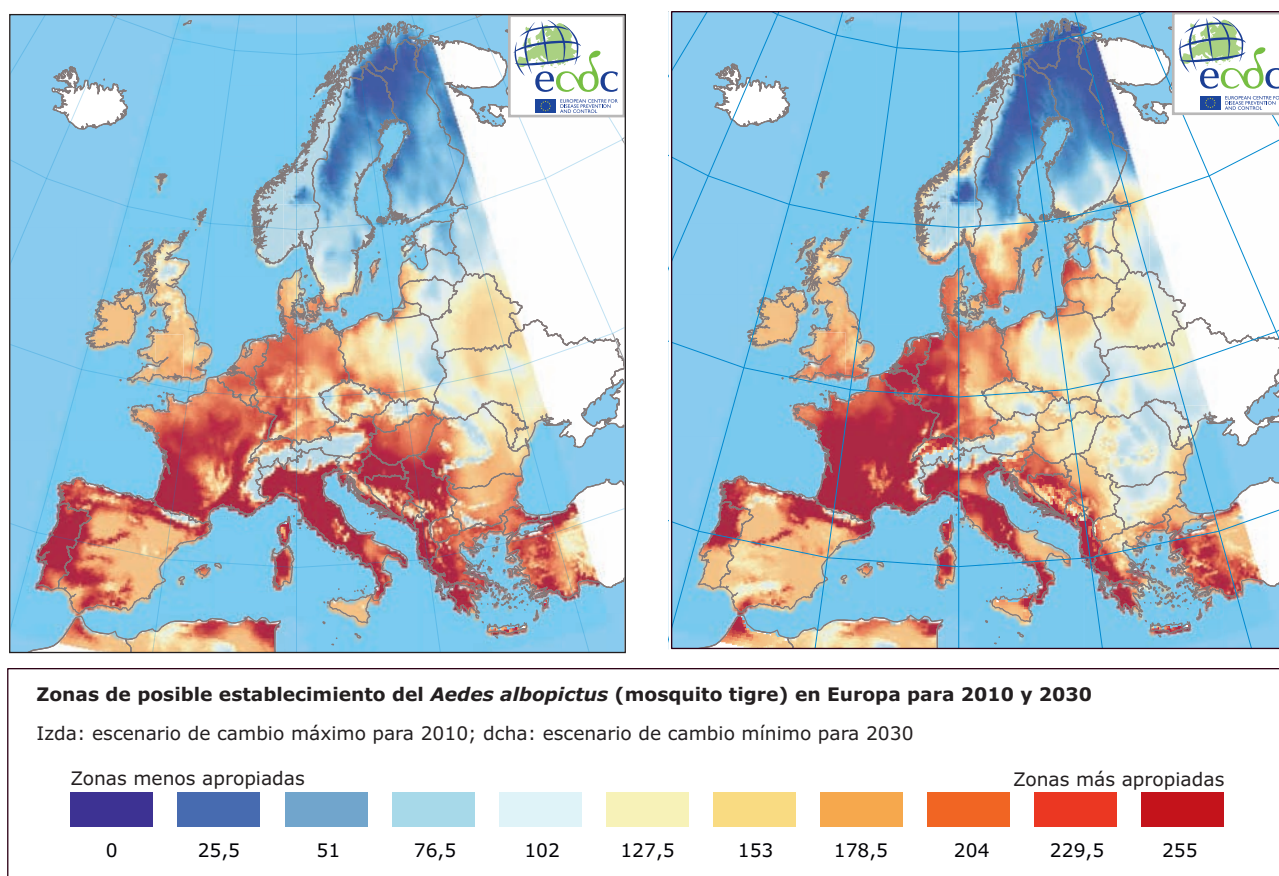
Fuente: Basado en Schaffner *et al.*, 2008.

Relevancia

El cambio climático puede provocar alteraciones en los sistemas ecológicos que afectarán al riesgo de enfermedades infecciosas en Europa, entre ellos, la actividad estacional de los vectores locales y el establecimiento de especies tropicales y semitropicales.

Las variaciones constatadas en la distribución y comportamiento a nivel mundial y regional de las especies de insectos y aves son los primeros indicios de que los sistemas biológicos ya están reaccionando al cambio climático (véase también la sección 5.7.5). El IPCC (2007a) prevé que el cambio climático provocará cambios significativos en la transmisión

Mapa 5.47 Zonas de posible establecimiento del *Aedes albopictus* (mosquito tigre) en Europa para 2010 y 2030



Nota: Elaborado por Francis Schaffner (BioSys Consultancy, Zúrich), en colaboración con Guy Hendrickx/Ernst-Jan Scholte (Avia-GIS, Zoersel, Bélgica) y Jolyon M Medlock (Agencia de Protección de la Salud, Reino Unido) para el proyecto TigerMaps del CEPCE. © Centro Europeo para la Prevención y el Control de las Enfermedades, 2008

Fuente: Basado en Schaffner *et al.*, 2008.

de enfermedades infecciosas por vectores (como los mosquitos y las garrapatas) como resultado de las variaciones registradas en el ámbito geográfico, la estacionalidad, la transmisión de enfermedades y el número absoluto de casos.

Las pautas de las enfermedades infecciosas en Europa están y estarán afectadas por el desplazamiento de personas y mercancías, los cambios producidos en los huéspedes y los patógenos, el uso del suelo y otros factores ambientales. Los factores de riesgo personal, como el estado del sistema inmunológico, también juegan un papel importante. En Europa se teme que la aparición de nuevas enfermedades infecciosas podría causar problemas de salud a la población y que se teme la reaparición de enfermedades erradicadas. La probabilidad de que ocurra dependerá en gran parte de los sistemas de control disponibles a escala internacional, europea y regional para la detección temprana y la respuesta, de las medidas de control de vectores y huéspedes, de la concienciación de la población y de los profesionales de los servicios

sanitarios, y de las medidas preventivas como la vacunación y el tratamiento. En muchos casos, será necesario revisar las medidas integradas de control de vectores, aumentar el control internacional, estrechar la colaboración entre los servicios veterinarios y de salud pública e informar a la población sobre la manera de evitar riesgos potenciales.

Disponemos de información, fundamentalmente aportada por el estudio (cCASHh) sobre el cambio climático y las estrategias de adaptación para la salud humana, de las evaluaciones nacionales y de los escenarios mundiales. El proyecto EDEN en curso y la consulta con expertos del ECDC sobre la magnitud y la importancia de las enfermedades transmitidas por vectores en Europa (evaluación V-borne) proporcionarán aclaraciones y consideraciones adicionales sobre los riesgos en los próximos años.

En este informe, las enfermedades transmitidas por vectores se han agrupado en tres grupos: enfermedades transmitidas por mosquitos, enfermedades transmitidas

por garrapatas y enfermedades transmitidas por flebótomos. Las bacterias y los parásitos se pueden transmitir a través de estos virus.

Tendencias pasadas

Enfermedades transmitidas por mosquitos

El aumento de las temperaturas puede contribuir al aumento de los índices de réplica de virus en los mosquitos, al aumento de las poblaciones de mosquitos, a la expansión de su distribución y a un establecimiento más rápido y una réplica de los vectores.

Chikungunya: el *Aedes albopictus* (mosquito tigre) ha extendido su ámbito en Europa sustancialmente durante los últimos 15 años (Scholte y Schaeffner, 2007) y ahora está presente en 12 países europeos (véase el mapa 5.46).

Este mosquito puede transmitir varias enfermedades. El riesgo de transmisión local de enfermedades transmitidas por los mosquitos es el resultado de la presencia simultánea de virus, mosquitos competentes, huéspedes humanos susceptibles y contactos entre estas tres entidades. En 2007 se observaron una serie de casos de Chikungunya (un virus muy infeccioso y neutralizador, aunque no transmisible entre personas) en la región italiana de Emilia Romagna. Se trata del primer ejemplo detectado en Europa continental de un caso de enfermedad humana importada seguido de una transmisión local continua mediante mosquitos (ECDC, OMS, 2007; Menne *et al.*, 2008).

Dengue: el *Aedes aegypti*, uno de los numerosos vectores transmisores del dengue, sigue muy de cerca la línea isotérmica invernal de 10°C y su ámbito se está ampliando. El *Ae. aegypti* no se encuentra actualmente en Europa, donde permaneció bien asentado hasta después de la Segunda Guerra Mundial. El dengue es solamente una de las varias enfermedades transmitidas por el *Ae. aegypti*. Actualmente, son muchos los viajeros que lo introducen en Europa procedentes de países donde el dengue es una enfermedad endémica. No se han registrado casos de transmisión local del dengue, por lo que cabría asumir que el riesgo de transmisión local en estos momentos es leve, y que su aumento dependería de que vuelva a introducirse el *Ae. aegypti* en Europa. Además, podría producirse una transmisión local si el virus del dengue se introdujera en la población del *Ae. albopictus* (Semenza y Menne, 2008).

Malaria: los mosquitos anofeles, los vectores transmisores de la malaria, están y han estado presentes en todos los países Europeos desde hace mucho tiempo. En las últimas décadas, las condiciones para la transmisión de la malaria en Europa han sido favorables, tal y como demuestra la reiterada transmisión autóctona e inusual de una cepa de malaria tropical a personas susceptibles por medio de

vectores locales. En la actualidad, la malaria autóctona sigue resultando problemática en Turquía. No obstante, el riesgo de transmisión local depende de la presencia simultánea en una zona concreta de vectores antropofílicos y de elevada longevidad y genéticamente competentes, y de portadores de parásitos humanos (Menne *et al.*, 2008; Ebi y Menne, 2006).

El virus del Nilo occidental: se transmite fundamentalmente por medio de mosquitos alimentadores de pájaros (en particular *Culex spp.*). El cambio climático ha afectado a los cambios producidos en la fenología migratoria y productiva (adelanto de las fechas de crianza y migración) de varias especies de aves, en su abundancia y su dinámica poblacional y en la expansión hacia el norte de su ámbito geográfico en Europa. Existen dos consecuencias posibles: a) cambios en la distribución geográfica de los vectores y los patógenos a causa de la alteración de las distribuciones o de los cambios producidos en las pautas migratorias de las poblaciones de aves; b) cambios en los ciclos vitales de los patógenos asociados a las aves a causa de una asincronía entre la crianza de las aves y la crianza de los vectores, como por ejemplo los mosquitos. En las grandes rutas migratorias de las aves se han observado mayores transmisiones del virus del Nilo occidental. No obstante, en Europa no son habituales los casos humanos del virus del Nilo occidental y se producen fundamentalmente en humedales y zonas urbanas (Hubálek *et al.*, 2006).

Enfermedades transmitidas por garrapatas

El cambio climático puede aumentar la supervivencia de las garrapatas y por ende su densidad, prolongar la estación de actividad de este insecto, prolongar las actividades de sus huéspedes y el desplazamiento de las garrapatas hacia mayores altitudes y hacia el norte. A causa del cambio climático, un desplazamiento hacia temperaturas invernales más suaves podría favorecer la expansión del ámbito de la enfermedad de Lyme y la encefalitis transmitida por la garrapata hacia mayores latitudes y altitudes. Por el contrario, las sequías y las



Aedes albopictus (mosquito tigre)

Fotografía: © ECDC, www.world-television.se/world_television.se/mnr_stat/mnr/ECDC/431/index.php

inundaciones graves afectarán negativamente a su distribución, por lo menos temporalmente.

Se han observado indicios de desplazamientos altitudinales o hacia el norte en la distribución de las garrapatas procedentes de Suecia y de la República Checa. No obstante, no es previsible que los aumentos recientes en la incidencia de enfermedades transmitidas por las garrapatas se deban exclusivamente al cambio climático, pues existe una considerable heterogeneidad espacial en el grado de aumento de la encefalitis transmitida por la garrapata (Daniel *et al.*, 2006).

Enfermedades transmitidas por flebótomos

Si bien actualmente no existen pruebas concluyentes de que las distribuciones del flebótomo y la leishmaniosis visceral se hayan alterado en Europa como consecuencia del reciente cambio climático, el análisis cCASHh señala la existencia de un potencial considerable de cambios originados por el cambio climático en la distribución de la leishmaniosis. El ámbito del flebótomo vector ya es más amplio que el del patógeno (*L. infantum*), y en Europa central y septentrional es habitual hallar perros importados infectados. Cuando las condiciones posibilitan la transmisión en las latitudes septentrionales, los casos de perros importados podrían actuar como fuente de nuevos focos endémicos. Los cambios inducidos por el clima en la abundancia de flebótomos podrían por consiguiente aumentar el riesgo de aparición de enfermedades nuevas en la región (Lindgren y Naucke, 2006).

Proyecciones

Las proyecciones referentes a las enfermedades transmitidas por vectores y relacionadas con el cambio climático utilizan enfoques distintos para clasificar el riesgo de los determinantes y los problemas de salud sensibles al clima. En el caso de la malaria y el dengue, los resultados de las proyecciones se presentan habitualmente en forma de mapas de cambios potenciales en la distribución (véase el mapa 5.47). Los modelos de los impactos sobre la salud se basan habitualmente en las limitaciones climáticas al desarrollo del vector y/o el parásito, e incluyen proyecciones limitadas relativas a la población e hipótesis que no guardan relación con el clima. Los modelos con una parametrización incompleta de las

relaciones biológicas existentes entre la temperatura, los vectores y los parásitos tienden a dar una excesiva importancia a los cambios relativos del riesgo, aun en los casos en que el riesgo absoluto es leve. Varios estudios de modelización utilizaron los escenarios climáticos del IE-EE del IPCC, unos pocos aplicaron escenarios poblacionales y ninguno incorporó escenarios económicos. Pocos estudios incorporan hipótesis adecuadas sobre la capacidad de adaptación. Los enfoques más utilizados son los que incluyen la «capacidad de control» actual en la función observada del clima y la salud y la categorización del resultado del modelo en función de la capacidad de adaptación, separando así los efectos del cambio climático de los de las mejoras en la salud pública (Confalonieri *et al.*, 2007).

Está previsto que el ámbito del *Aedes albopictus* se amplíe todavía más. Schaffner *et al.*, 2008 estimaron zonas de mayor extensión del *A. albopictus* para 2010 y 2030 (véase el mapa 5.47). Sin embargo, el hecho de si se producirán o no brotes de Chikungunya en los años venideros dependerá en gran medida de la circulación mundial del virus y de los viajes a escala mundial.

En un modelo empírico se estimó que entre 2080 y 2090, entre 5.000 y 6.000 millones de personas estarán en peligro de padecer el dengue como resultado del cambio climático y el aumento de la población, frente a los 3.500 millones de personas que lo padecerían si no se produjera ningún cambio en el clima (Hales, 2002). Esta proyección contempla una ampliación del riesgo de padecer el dengue en los países mediterráneos.

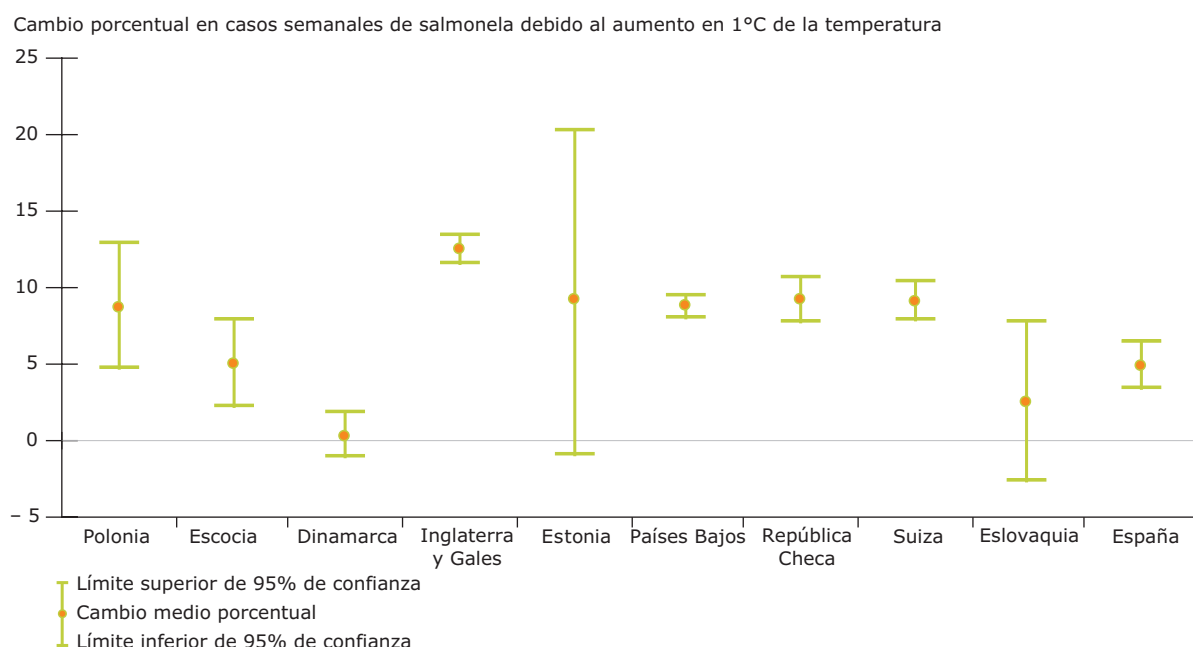
Varios modelos relacionados con el cambio climático prevén un aumento del riesgo de malaria: en el Reino Unido, por ejemplo, se estimó que a causa de los aumentos de temperatura, el riesgo de transmisión local de la malaria podría aumentar entre 8 - 15% para 2050. En Portugal está previsto que aumente el número de días aptos para la supervivencia de los vectores de la malaria. No obstante, existe consenso acerca del hecho de que el riesgo de transmisión de la malaria vinculado al cambio climático es muy leve. Los riesgos son mayores en los países donde la importación de la malaria coincide con la degradación socioeconómica, la desintegración de los servicios sociales y sanitarios, la migración transfronteriza incontrolada y la falta de gestión ambiental para el control de los mosquitos.

5.10.4 Enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos

Mensajes clave

- Se ha producido un incremento lineal de los casos registrados de determinadas enfermedades transmitidas por los alimentos por cada grado de aumento de la temperatura semanal o mensual por encima del umbral específico de una localización concreta (grado de confianza medio). Para los años venideros se esperan varios miles de casos de salmonela, en particular en aquellos países con unas normas de seguridad alimentaria deficientes.
- Los cambios en la frecuencia y la intensidad de las precipitaciones (y de la temperatura) originados por el cambio climático podrían provocar brotes de enfermedades transmitidas por el agua (grado de confianza alto) y podrían causar una movilización de los patógenos.
- En el Mediterráneo, está previsto que afloren problemas adicionales de salmonela relacionados con la calidad de las aguas de baño, los cuales podrían requerir una vigilancia y un control adecuados.

Figura 5.45 Cambio porcentual de los casos semanales de salmonela por cada 1°C de aumento de la temperatura



Fuente: Kovats *et al.*, 2004.

Relevancia

A la hora de evaluar la relación existente entre los problemas de salud y la exposición a los cambios producidos en la pluviosidad y en la calidad del agua y su disponibilidad, cabría tomar en consideración cuatro cuestiones fundamentales: (1) los vínculos existentes entre la disponibilidad del agua, el acceso de las viviendas a un agua de mejor calidad y la carga sanitaria originada por las enfermedades diarreicas; (2) la función que desempeña la pluviosidad extrema (pluviosidad intensa o sequías) a la hora de propiciar brotes transmitidos por el agua; (3) los efectos de la temperatura y de la escorrentía sobre la contaminación microbiológica y química de las aguas costeras, las destinadas a fines de ocio y las aguas superficiales;

(4) los efectos directos de la temperatura sobre la incidencia de enfermedades diarreicas y de otra índole. La variabilidad y el cambio climático también alteran los riesgos de incendios y brotes de plagas y patógenos, con consecuencias perjudiciales para los alimentos, la fibra y la silvicultura (Menne *et al.*, 2008).

El acceso a un agua segura sigue siendo un problema sanitario extremadamente importante a escala mundial. El riesgo de brotes de enfermedades transmitidas por el agua aumenta cuando las normas relativas al agua, el saneamiento y la salud pública y la higiene personal son deficientes.

Las inundaciones o las sequías provocadas por fenómenos de precipitación extrema pueden influir

directa e indirectamente en la salud. Las inundaciones pueden provocar ahogamientos, lesiones (cortes, esguinces, laceraciones, punciones, lesiones eléctricas, etc.), enfermedades diarreicas, enfermedades transmitidas por vectores (incluidas las transmitidas por roedores), infecciones respiratorias, infecciones cutáneas y oculares y problemas de salud mental. Las inundaciones también presentan otros efectos con repercusión sanitaria: daños a las infraestructuras destinadas a la atención sanitaria, el agua y el saneamiento, los cultivos (y/o alteraciones en el suministro alimentario) y la propiedad (falta de cobijo), así como alteraciones en los medios de subsistencia y el desplazamiento de las poblaciones. Las sequías o los períodos secos prolongados pueden afectar al abastecimiento de agua potable, con los consiguientes problemas de salud relacionados con el agua, por ejemplo, mediante la reducción de los caudales de los ríos, que podría aumentar la concentración de patógenos en los efluentes, lo que supone un problema para la capacidad de depuración de las plantas de tratamiento.

También es previsible que el cambio climático afecte a la calidad de las aguas costeras, cambiando los ecosistemas naturales o la calidad de las aguas drenadas a las zonas costeras. Esto conlleva una serie de riesgos específicos para el uso de las aguas de baño con fines de ocio, en particular para las poblaciones transitorias de turistas que podrían carecer de una resistencia propia a las enfermedades endémicas relacionadas con el agua, o que podrían tener que enfrentarse a un agua con una calidad no ajustada a las estrictas condiciones impuestas en su país de origen. La calidad y la seguridad del marisco guarda relación directa con la calidad del agua de las zonas costeras.

Las enfermedades infecciosas intestinales que se transmiten a través de los alimentos o del agua son sensibles a los factores meteorológicos y climáticos. Estas enfermedades constituyen la principal causa de la diarrea infecciosa y provocan un gran número de enfermedades cada año en Europa. Todos los años, aproximadamente el 20% de la población de Europa occidental padece episodios de diarrea (van Pelt *et al.*, 2003). Estas infecciones tienen un impacto económico significativo en términos de costes de tratamiento y pérdida de horas de trabajo (Roberts *et al.*, 2003).

Se dispone de varias opciones de adaptación, entre las que figuran el acceso garantizado a suministros seguros de agua potable, la dotación de servicios de saneamiento y la fijación de unas normas comunes aplicables a los sistemas de control y a los planes de contingencia para la detección y la prevención de brotes de enfermedades transmitidas a través del agua. Podría ser necesario revisar los planes de seguridad del agua a la luz de los condicionantes del cambio climático. Dichos planes tendrán que incorporar

fórmulas que garanticen que el agua es potable desde la fuente hasta el grifo, mediante una mejora de la evaluación de riesgos y la gestión. La mejora de la gestión de la demanda de agua en el contexto de una planificación plenamente integrada de la gestión de las cuencas fluviales será obligatoria como primer mecanismo de adecuación, pero no es previsible que satisfaga todas las necesidades creadas por el crecimiento demográfico, por un mayor nivel de vida y por el desarrollo económico. Será necesario explorar estrategias alternativas, entre ellas la reutilización de las aguas residuales de tratamiento, la utilización de aguas grises, la recogida de aguas pluviales y, cuando sea económicamente viable, la desalinización. La contaminación de los productos alimentarios tiene normalmente su origen en la aplicación de prácticas inadecuadas en algún punto del viaje desde la granja hasta la mesa. Es esencial educar y proporcionar información oportuna a los productores, a los manipuladores de alimentos y a los consumidores sobre las formas óptimas de manipular los alimentos y evitar el brote de enfermedades transmitidas a través de los alimentos. Los brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos se pueden prevenir con el uso de agua y materias primas seguras, manteniendo los alimentos en unas condiciones óptimas de limpieza y a una temperatura segura, cocinándolos bien y manteniendo separadas las materias primas de los alimentos cocinados.

Tendencias del pasado

En los Estados miembros de la UE el grado de acceso a fuentes públicas de agua potable es elevado. La precipitación intensa se ha asociado a una serie de brotes de *Cryptosporidium* (un patógeno que causa enfermedades diarreicas) en el agua potable en Europa, debidos a la infiltración de esporas en las reservas de agua potable de manantiales y lagos y a su persistencia en los sistemas de distribución de agua (Lake *et al.*, 2005; Semenza y Nichols, 2007). En Alemania, los parámetros bacteriológicos y parasitarios aumentaron considerablemente durante fenómenos de escorrentía extrema (Kistemann *et al.*, 2002). En los últimos años han surgido también patógenos nuevos. En Europa, el riesgo de brotes de enfermedades infecciosas es relativamente escaso debido al nivel de tratamiento del agua y a las infraestructuras de distribución. Si bien el potencial de los brotes transmitidos a través del agua es relativamente elevado, la carga de morbilidad real en Europa es difícil de estimar y lo más probable es que esté subestimada. En el Reino Unido (Reacher *et al.*, 2004), Finlandia (Miettinen *et al.*, 2001), la República Checa (Kříž *et al.*, 1998) y Suecia (Lindgren, 2006) se han hallado ejemplos del aumento del riesgo de brotes de enfermedades infecciosas.

En Europa se están vigilando las infecciones clave transmitidas a través de los alimentos y del agua. La

incidencia de la salmonela ha descendido en numerosos países, pero la de otros patógenos está aumentando. Varios estudios han confirmado y cuantificado los efectos de las altas temperaturas sobre las formas habituales de intoxicación alimentaria, como la salmonelosis (D'Souza *et al.*, 2004; Kovats *et al.*, 2004; Fleury *et al.*, 2006) (véase la figura 5.45). Dichos estudios detectaron un aumento más o menos lineal en los casos registrados con cada aumento de un grado de la temperatura semanal o mensual por encima de un umbral determinado. La temperatura es mucho menos importante para la transmisión del *Campylobacter* (Kovats *et al.*, 2005; Louis *et al.*, 2005; Tam *et al.*, 2006). El contacto entre las especies de parásitos y los alimentos, especialmente pulgas, roedores y cucarachas, también es sensible a la temperatura. La actividad de las pulgas está determinada en mayor medida por la temperatura que por factores bióticos (Goulson *et al.*, 2005).

Las proliferaciones de algas nocivas producen toxinas susceptibles de causar enfermedades humanas, principalmente a través del consumo de marisco contaminado. El calentamiento de los mares podría contribuir así al aumento de los casos de intoxicación de marisco para consumo humano y de peces de arrecife (ciguatera) y a la expansión de las distribuciones de estas enfermedades en dirección al polo (Lehane y Lewis, 2000; Hall *et al.*, 2002; Hunter, 2003; Korenberg, 2004).

Proyecciones

Las infecciones por *Salmonella* spp. aumentan entre 5 - 10% por cada grado que aumenta la temperatura semanal, cuando la temperatura ambiente es superior a 5°C (Kovats *et al.*, 2004). Están empezando a publicarse estudios que muestran que la carga de morbilidad en Europa podría ser significativa (siendo las demás circunstancias constantes) con un potencial de 20.000 casos adicionales al año para 2030 y entre 25.000 y 40.000 para 2080 (CE, 2007).

Está previsto que aumente el estrés hídrico en Europa central y septentrional. En la UE, es previsible que el porcentaje de la superficie terrestre sometida a un estrés hídrico elevado aumente del 19% actual al 35% entre 2070 y 2080, esperándose que para entonces el número adicional de personas afectadas se sitúe entre 16 y 44 millones. Además, en Europa septentrional y en algunas zonas de Europa central y oriental, los caudales de agua estivales se podrían reducir hasta en un 80%. Está previsto que para 2050 la población de la zona costera del Mediterráneo aumente en 31 millones, incrementándose en 130 millones la cifra anual de personas que visitan la región.

6 Adaptación al cambio climático

Mensajes clave

- La adaptación busca incrementar la resistencia de los sistemas naturales y humanos a los impactos actuales y futuros del cambio climático. La adaptación ocurre principalmente a nivel nacional y local, pero implica la toma de decisiones a todos los niveles, desde el municipal hasta las organizaciones internacionales.
- La adaptación es un problema intersectorial y transfronterizo que requiere de unos enfoques integrados y exhaustivos. Integrar la adaptación a las políticas sectoriales a escala europea y nacional es clave para la reducción a largo plazo de la vulnerabilidad de los ecosistemas, los sectores económicos, los paisajes y las comunidades a los impactos del cambio climático. Para integrar el cambio climático en el conjunto de actuaciones y medidas políticas prioritarias será útil potenciar el intercambio de información sobre las actividades de adaptación en curso o previstas en Europa.
- Unas buenas prácticas de adaptación deben ser apropiadas, proporcionadas y rentables a largo plazo y a la hora de desarrollarlas es preciso tener en cuenta los vínculos entre adaptación y mitigación. Mejorar la evaluación de los costes de adaptación, como forma de apoyar una política más integrada, requiere un esfuerzo considerable.

6.1 Europa necesita adaptarse

Los capítulos anteriores presentaban una visión general de los impactos del cambio climático en Europa y mostraban la vulnerabilidad de muchas regiones y los impactos ya observados en muchos sistemas. La mayoría son impactos desfavorables y las previsiones indican que empeorarán durante las próximas décadas. Todos los países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo, deben adaptarse, pues, al cambio climático⁽⁵⁾. La adaptación brinda alternativas para incrementar la capacidad de resistencia de Europa frente al cambio climático.

La UE ha acordado limitar el incremento a largo plazo de la temperatura media mundial a 2°C por encima de los niveles preindustriales. Aunque se cumpliera este objetivo mediante la aplicación de enérgicas medidas de mitigación a escala mundial destinadas a estabilizar las concentraciones mundiales de GEI, algunos impactos permanecerán, al menos a corto y a medio plazo, por lo que la adaptación resulta imprescindible para reducir la vulnerabilidad e incrementar la capacidad de resistencia. Europa debe adaptarse al cambio climático y tiene además la obligación moral de ayudar a los países en vías de desarrollo, ya que son sus comunidades, sectores económicos y ecosistemas los más vulnerables. Todo ello debe enmarcarse en el contexto del programa de trabajo quinquenal de Nairobi sobre los impactos, la vulnerabilidad y la

adaptación al cambio climático (CMNUCC, 2006), los Planes de Acción Nacionales de Adaptación (PANA) y el Plan de Acción de Bali (CMNUCC, 2007c). Varios países en vías de desarrollo han elaborado sus PANA a partir del Marco de Políticas de Adaptación del PNUD (PNUD, 2004). Además, el Plan de Acción de Bali, resultado de las últimas reuniones celebradas por la COP/MOP (Conferencia de las Partes y Reunión de las Partes, diciembre de 2007), reconoce que la adaptación deberá incluirse explícitamente en un acuerdo mundial sobre el cambio climático para el período posterior a 2012, actualmente en fase de negociación, con el fin de llegar a un acuerdo en Copenhague para finales de 2009 (CMNUCC, COP15).

El cambio climático no plantea una amenaza a todos los niveles ni para todos los sectores o regiones. En determinadas zonas puede resultar beneficioso para la agricultura, por ejemplo, un leve aumento de temperatura y la fertilización de CO₂ asociada, al menos en lugares donde no disminuyan las precipitaciones. El cambio climático brindará asimismo oportunidades para introducir innovaciones en materia tecnológica y administrativa en otros sectores (por ejemplo, el turismo, el suministro energético, la gestión del agua, la salud, la construcción y la navegación). Para mitigar la vulnerabilidad y sacar partido a las nuevas oportunidades, se precisan acciones de adaptación dinámicas, para las que son esenciales herramientas y análisis integrados como la planificación territorial

⁽⁵⁾ El IPCC define la adaptación al cambio climático como un «ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o a sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Se pueden distinguir varios tipos de adaptación, entre ellas la preventiva, la autónoma y la planificada» (IPCC, 2007). El cambio climático es un factor que interviene en el cambio a nivel mundial y para el que se precisa adaptación. La adaptación incluye medidas activas y reactivas, fundamentalmente relacionadas a su vez con la adaptación planificada, y acciones autónomas. La mitigación tiene por objeto evitar los impactos incontrolables mientras la adaptación tiene por objeto controlar los inevitables.

(Uhel e Isoard, 2008). Actualmente disponemos de más conocimientos sobre la relación existente entre los impactos, que constituyen el fundamento de los «motivos de preocupación», y la vulnerabilidad, incluida la capacidad y la voluntad de adaptación a los impactos (véase la figura 6.1 y Grothmann y Patt, 2005).

La Comisión Europea, reconociendo la necesidad de que Europa se adapte a los impactos del cambio climático, adoptó en junio de 2007 un Libro Verde «Adaptación al cambio climático en Europa: opciones de actuación para la UE» que esboza cuatro pilares de actuación (CE, 2007), a saber:

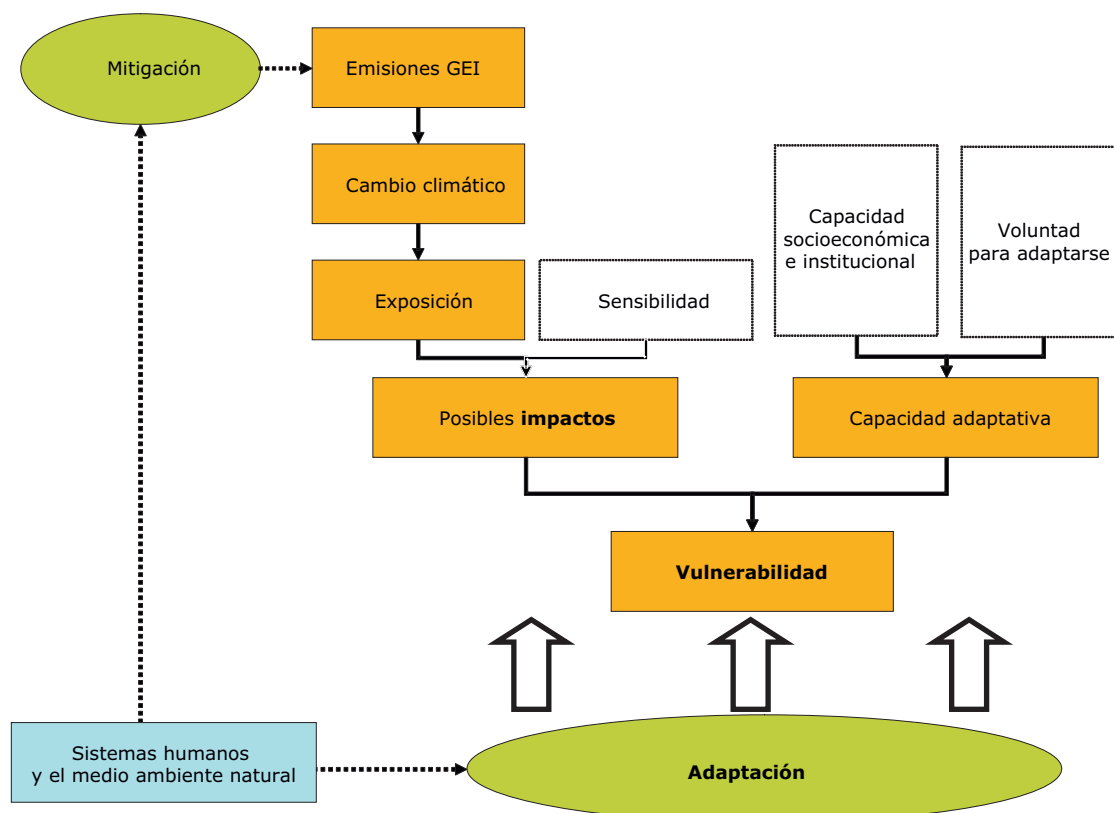
- «tomar medidas tempranas en la UE 15» (integrar la adaptación al aplicar políticas o legislación vigentes o en fase de elaboración, integrar la adaptación en los programas comunitarios de financiación existentes, desarrollar nuevas respuestas políticas);
- «integrar la adaptación en la acción exterior de la UE»;
- «reducir la incertidumbre ampliando la base de conocimientos mediante la investigación integrada sobre el clima»;

- «implicar a la sociedad, las empresas y el sector público europeos en la preparación de estrategias de adaptación coordinadas y globales».

La publicación del Libro Verde vino acompañada de un amplio proceso de consultas con las partes interesadas a nivel regional. La Comisión Europea tiene previsto adoptar a finales de 2008 un Libro Blanco en el que se formule una Estrategia europea de adaptación y unas opciones de adaptación, así como una evaluación de impacto de las propuestas políticas.

En estos momentos se dispone ya de numerosas opciones de adaptación, por lo general específicas de cada ubicación y de cada sector. Actualmente, la adaptación no suele acometerse para hacer frente exclusivamente al cambio climático sino que por lo general se integra en otras políticas transversales y preventivas, como la preparación en caso de desastres, la gestión de las zonas costeras, el desarrollo rural, los servicios sanitarios, la planificación territorial y el desarrollo regional, los ecosistemas y la gestión del agua. Se prevé que la creciente atención prestada a la problemática de la adaptación en la toma de decisiones favorezca el desarrollo de nuevas herramientas de evaluación y una mayor integración de las medidas de adaptación.

Figura 6.1 Modelo conceptual para los impactos del cambio climático, la vulnerabilidad y la adaptación



Fuente: Isoard, Grothmann y Zebisch, 2008.

No obstante, la adaptación tiene sus límites. La capacidad de adaptación de los sistemas naturales es por lo general inferior a la de los sistemas humanos, sobre todo una vez rebasados determinados umbrales (que, aunque cada vez más, todavía se conocen mal). Los sistemas más diversos se adaptarán mejor, en principio, al cambio climático, pero hasta los sistemas humanos (esto es, todos los sectores económicos) presentarán unos límites, condicionados por restricciones sociales, tecnológicas, económicas, ambientales, políticas e institucionales. A medida que aumenten los impactos del cambio climático aumentarán los costes de la adaptación y disminuirán las posibilidades de reacción. Se calcula que los costes de la adaptación serán considerables (si bien por el momento sólo podemos ordenarlos en función de su magnitud), pero podemos suponer que cuanto más se retrase la respuesta, mayores serán los costes. Los costes estimados de la adaptación, a escala mundial, oscilan entre 30.000 y 90.000 millones de dólares al año⁽⁶⁾, adicionales a la Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD)⁽⁷⁾, que se ha situado en un promedio de 80.000 millones de dólares al año durante los últimos años (AEMA (2007), CMNUCC (2007a, 2007b), PNUD (2007), Oxfam (2007), Banco Mundial (2007) y OCDE (2008)).

6.2 La adaptación se produce a escala internacional, sub-nacional y local

La adaptación es una materia transversal porque su propósito es potenciar la capacidad de resistencia frente a los impactos del cambio climático, lo que prácticamente afecta a todos los sectores económicos europeos, como la gestión del agua, la agricultura, la silvicultura, la salud, la energía, el transporte, el turismo, la protección del suelo y de la naturaleza, los bienes y servicios de los ecosistemas, la biodiversidad y la explotación pesquera. La integración de la adaptación al cambio climático en el marco de las políticas sectoriales constituye por lo tanto uno de los planteamientos esenciales a nivel europeo, junto con su integración en los mecanismos de financiación de la UE. La integración del cambio climático en otros ámbitos de política tiene por finalidad la protección de la población y de la naturaleza y la reducción de la vulnerabilidad de la actividad económica, mediante la aplicación de medidas de adaptación apropiadas y proporcionadas como, por ejemplo, los planes de actuación para prevenir las olas de calor, la vacunación, la planificación del sistema sanitario, la planificación del riesgo de

inundación (sistemas de alerta temprana), la gestión de sequías y riesgos de escasez hídrica, la gestión de la demanda de agua, las defensas costeras y contra las inundaciones, la diversificación económica, la vigilancia de los peligros naturales, el refuerzo de infraestructuras (por ejemplo, carreteras, puentes, tendidos eléctricos), la gestión del uso del suelo y la promoción de ciudades más verdes.

La adaptación afecta principalmente a los sectores del suministro energético, la salud, la gestión del agua, la agricultura, el turismo y el transporte. La adaptación guarda un estrecho vínculo con la gestión de los riesgos asociados a los futuros impactos del cambio climático. En muchos casos, convendrá también vincularla a la gestión de catástrofes naturales. Se produce esencialmente a escala transfronteriza (por ejemplo, en las cuencas de los ríos), sub-nacional y local, y afecta consecuentemente a diversos ámbitos de la toma de decisiones. La elección del nivel de intervención variará en función de las regiones, los tipos de paisaje y los sectores. El carácter transnacional del cambio climático y las respuestas de adaptación asociadas, así como el principio de subsidiariedad, son factores importantes que deberán tenerse en cuenta a la hora de poner en práctica las estrategias.

Además, también deben tenerse en cuenta las relaciones entre adaptación y mitigación (Swart y Raes, 2007), sobre todo cuando el objetivo es la integración y la coordinación de las acciones futuras. Algunas opciones de adaptación se pueden desarrollar de forma coordinada con las de mitigación, por ejemplo en los sectores de la gestión del agua y del suelo. A la hora de formular medidas de mitigación también es necesario tomar en consideración las vulnerabilidades y las opciones de adaptación. La identificación de posibles conflictos entre la mitigación y la adaptación es fundamental para evitar una inadecuada adaptación como, por ejemplo, la fabricación de nieve artificial, el trasvase de agua, el aire acondicionado o la desalinización. No obstante, es necesario formular criterios que permitan definir claramente y prevenir una inadecuada adaptación, ya que puede provocar emisiones de gases de efecto invernadero adicionales susceptibles de contrarrestar las medidas orientadas a la mitigación.

Como consecuencia, las opciones de adaptación deben ajustarse a las características específicas de la zona geográfica correspondiente en función de

⁽⁶⁾ En los informes del PNUD (2007) las estimaciones sobre los costes de inversión necesarios para la adaptación se sitúan en torno a los 86.000 millones de dólares al año para 2015. El CMNUCC (2007a, 2007b) cifró la inversión global adicional y los flujos de financiación necesarios para la adaptación en 2030 en varias decenas de miles de millones de dólares (por ejemplo, 14.000 millones para la agricultura, la silvicultura y las pesquerías, 11.000 millones para el abastecimiento de agua, 5.000 millones para las enfermedades diarreicas, la desnutrición y la malaria, 11.000 millones para la creación de playas y diques y entre 8.000 y 130.000 millones para la adaptación de infraestructuras nuevas). El Banco Mundial (2007) informó de una cifra estimada de 30.000 millones de dólares en concepto de costes de adaptación.

⁽⁷⁾ El objetivo de la ayuda al desarrollo es desde hace tiempo el 0,7% del Producto Interior Bruto de los países ricos. El compromiso adquirido por la UE y el G8 en 2005 contemplaba la promesa de duplicar los flujos de ayuda para 2010, lo que supone un aumento de 50.000 millones de dólares.

los tipos de paisaje vulnerable (por ejemplo, zonas costeras, humedales y ríos, montañas y glaciares, el Mediterráneo, el semi-Ártico) y de los sectores afectados, con vistas a aplicar medidas en el ámbito adecuado de la toma de decisiones (UE, nacional, regional, local). Los enfoques variarán en función de los sistemas vulnerables y de las escalas geográficas.

6.3 De las estrategias europeas y nacionales a la ejecución regional y local

Los Estados miembros de la UE se encuentran en diferentes fases de elaboración, formulación y ejecución de las estrategias nacionales de adaptación, en función de la magnitud y el carácter de los impactos observados, de la evaluación de la vulnerabilidad real y futura, y de la capacidad de adaptación (véase más información en la tabla 6.1). Además, todos los países facilitaron información sobre sus planes de adaptación en su Cuarta Comunicación Nacional al CMNUCC en 2005. Asimismo, cada vez es mayor el número de medidas y acciones adoptadas a escala regional y local.

Las estrategias nacionales constituyen el marco de las acciones de adaptación, muchas de las cuales deberán ser ejecutadas a escala sub-nacional y local (regiones, provincias o municipios). En Europa se trabaja actualmente en varias iniciativas enfocadas a las regiones, en particular en el marco del programa INTERREG de la Comisión Europea que sirve de nexo entre la investigación y la formulación de políticas⁽⁸⁾. La actuación a nivel nacional y europeo puede facilitar y reforzar las circunstancias apropiadas para la adaptación regional y local, centrándose en regiones concretas que sean especialmente vulnerables al cambio climático (por ejemplo, los Alpes). Las fuentes de información nacional y europea, como este informe, contribuyen a ampliar la base de conocimientos que permiten identificar las zonas vulnerables y determinar el contexto para la ejecución de las acciones de adaptación a nivel local y regional. Se pueden vincular directamente indicadores concretos de impacto con los sectores económicos que tienen que establecer prioridades, formular y ejecutar estrategias de adaptación.

En los países europeos se concede especial atención a diferentes tipos de medidas de adaptación. Es importante tener en cuenta un marco analítico que ayude a evaluar estas actividades dentro de los países y

proporcione una visión general de las acciones. Massey (2007) ha elaborado a este fin un proyecto de marco analítico⁽⁹⁾, que categoriza las medidas de adaptación desde tres ángulos principales, (1) el nivel o la fase en que se encuentran las medidas de adaptación (es decir, si un programa está en vigor o si un país está estudiando una acción específica), (2) el objetivo de las acciones (es decir, por qué se está llevando a cabo la adaptación, por ejemplo, la capacidad de adaptación de un edificio, la reducción del riesgo y la sensibilidad) y (3) la cuestión o el problema que se pretende abordar con la adaptación (por ejemplo, la gestión de las zonas costeras, la gestión sanitaria y la salud). La red PEER⁽¹⁰⁾ ha iniciado asimismo recientemente un proyecto de investigación de análisis comparativo de las estrategias nacionales de adaptación y las políticas sectoriales de adaptación en varios países europeos que incorpora varios casos de estudio a nivel nacional y regional.

No obstante, en el conjunto de Europa hay una falta de información sobre evaluación de impactos y vulnerabilidad a escala regional y local, así como sobre actividades de adaptación y medidas previstas o en fase de ejecución por países. Es necesario por tanto potenciar el intercambio de información sobre impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, para lo que se requiere una coordinación global cuya necesidad se ve incrementada por la necesidad de mantener informados a los diferentes niveles de decisión que intervienen en la adopción de respuestas de adaptación. Garantizar un mayor acceso y una mejor comprensión de los impactos y la vulnerabilidad, por ejemplo mediante escenarios climáticos y socioeconómicos y bases de datos sobre políticas de buenas prácticas de adaptación en los diferentes sectores vulnerables (con énfasis en las características específicas locales), contribuiría sin duda a ampliar la base de conocimientos en toda Europa.

La adaptación a nivel de la UE conlleva como elementos fundamentales la coordinación del intercambio de información y el fomento de la ejecución apropiada, proporcionada e integrada de las medidas de adaptación a escala nacional, regional y local. En este sentido, la integración de la adaptación en las políticas sectoriales de la UE, y también en los fondos estructurales/de cohesión y en las relaciones exteriores, constituye un elemento clave, junto con el fomento de la investigación y la participación de las partes interesadas.

⁽⁸⁾ INTERREG y otros proyectos relevantes incluyen: ASTRA (Formulación de políticas y estrategias de adaptación al cambio climático en la región del mar Báltico), AMICA (Adaptación y mitigación: un enfoque político integrado en materia climática), ADAGIO (Adaptación de la agricultura en las regiones europeas en riesgo ambiental por el cambio climático), BRANCH (La biodiversidad requiere adaptación en Europa noroccidental a causa de los cambios del clima), CIRCLE (Investigación del impacto climático para una Europa ampliada), ClimChAlp (Cambio climático, impactos y estrategias de adaptación en el espacio alpino) y ESPACE (Planificación territorial europea: adaptación a los fenómenos climáticos).

⁽⁹⁾ Véase también Füssel y Klein (2004).

⁽¹⁰⁾ Partnership for European Environmental Research (PEER), <http://peer-initiative.org>.

Sólo un enfoque integrado que tenga en cuenta la dimensión transversal de la adaptación permitirá desarrollar medidas duraderas que mejoren la capacidad de resistencia en Europa. Las cuestiones que

deben tenerse en cuenta no son únicamente sectoriales, abarcando también, sobre todo, aspectos regionales y locales específicos, como por ejemplo, los tipos de paisaje, el uso del suelo y la biodiversidad.

Tabla 6.1 Avances de los Estados miembros de la UE con respecto a las Estrategias de Adaptación Nacionales (EAN)

Países	Evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación	EAN en preparación	EAN adoptada	Página web
Alemania	KomPass; Klimazwei; KLIMZUG	X (1er borrador finales 2008)		www.anpassung.net www.klimazwei.de www.klimaanpassung.lebensministerium.at/
Austria	Anpassungsstudie			
Bélgica	SSD	X (2012)		
Bulgaria	X			www2.moew.government.bg/recent_doc/international/climate/NAPCC_Final_English.doc
Chipre				
Dinamarca	Ministerio de Clima y Energía		2008	www.kemin.dk/NR/rdonlyres/1247B5C0-0BAD-464A-9997-2EAB952D9494/56490/klimatilpasningsstrategi.pdf www.klimatilpasning.dk
Eslovaquia	X			
Eslovenia	X			
España	ECCE + Impactos sobre el litoral		2006	www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/eval_impactos.htm www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/imp_cost_esp_efec_cc.htm www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pnacc.htm
Estonia	ASTRA	X (2009)		www.mmm.fi/attachments/5eWDKveQh/5h0aZ7Iid/Files/CurrentFile/Finlands_national_adaptation_strategy_julkaisu.pdf
Finlandia	FINADAPT		2004	
Francia	GICC		2006	www.ecologie.gouv.fr/Adaptation-au-changement.html
Grecia	Ministerio de Medio Ambiente & Academia de Atenas			
Hungría	VAHAVA		2008	http://klima.kvvm.hu/documents/14/nes_080219.pdf
Irlanda	ERTDI; CCRP			www.environ.ie/en/PublicationsDocuments/FileDownload,1861,en.pdf www.epa.ie
Islandia	VO			http://eng.umhverfisraduneyti.is/media/PDF_skrar/Stefnumorkun_i_loftslagsmalum_enlokagerd.pdf
Italia	X			www.conferenzacambiamentoclimatici2007.it www.apat.gov.it/site/en-GB
Letonia	ASTRA	X (2009)		www.vidm.gov.lv/eng www.astra-project.org
Liechtenstein	X			www.energie.zh.ch/internet/bd/awel/energie/de/themen/energieplanung.html
Lituania	ASTRA			www.astra-project.org
Luxemburgo				
Malta				www.mepa.org.mt/environment/index.htm?climate_change/mainpage.htm&1
Noruega	NORADAPT; NORKLIMA	X (finales 2008)		www.regjeringen.no/en/dep/md/Whats-new/News/2008/berom-innspill-til-redegjorelse-om-klim.html?id=51146 www.cicero.uio.no/projects/detail.aspx?id=30182&lang=EN www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?pagename=norklima/Page/HovedSide&c=Page&cid=1088796719022

Tabla 6.1 Avances de los Estados miembros de la UE con respecto a las Estrategias de Adaptación Nacionales (EAN) (cont.)

Países	Evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación	EAN en preparación	EAN adoptada	Página web
Países Bajos	Programa Nacional para la Adaptación al Cambio Climático (ARK), CcSP, Conocimiento del clima		2008	www.vrom.nl/pagina.html?id=2706&sp=2&dn=7222 www.vrom.nl/pagina.html?id=2706&sp=2&dn=7502 www.climatechangesspatialplanning.nl http://international.vrom.nl/pagina.html?id=10918
Polonia	X			
Portugal	SIAM			www.siam.fc.ul.pt/siam.html
Reino Unido	Evaluación Nacional de Riesgos del Reino Unido + estudios UKCIP		2008	www.ukcip.org.uk www.defra.gov.uk/adaptation www.defra.gov.uk/Environment/climatechange/uk/legislation/index.htm
República Checa		X (finales 2008)		www.env.cz/AIS/web-en.nsf/pages/Climate_Change
Rumania	X	X (finales 2008)		www.mmediu.ro
Suecia	SWECLIM; SWECIA; CLIMATOOLS			http://mistras.internetborder.se/mistra/english/researchresults/researchprogrammes/completedprogrammes/sweclimswedishregionalclimatemodellingprogramme.4.1eeb37210182cfc0d680007760.html www.mistra.org/mistra/english/researchresults/researchprogrammes/activeprogrammes/mistrasweciacclimateimpactsandadaptation.4.a791285116833497ab800017356.html www.foi.se/FOI/Templates/ProjectPage____5846.aspx www.sweden.gov.se/sb/d/574/a/96002 www.regeringen.se/sb/d/8756/a/91682
Suiza	OcCC			www.bafu.admin.ch/klima/00469/00810/index.html?lang=fr www.occc.ch/index_e.html
Turquía				

7 Consecuencias económicas del cambio climático

7.1 Introducción

El cambio climático en Europa comportará un amplio abanico de efectos sobre la economía que afectarán, entre otros, a los servicios asociados al medio natural (incluidos los bosques y las pesquerías), las zonas costeras, la agricultura, el turismo, la energía, la salud humana y el medio construido.

Los efectos del cambio climático observados y proyectados en Europa varían en función de las regiones y los sectores. Se prevé que muchos de los impactos sean desfavorables y provoquen pérdidas económicas, aunque también generarán beneficios. Existe una pauta de distribución muy acusada en relación con los efectos económicos previstos para Europa, con una tendencia significativa hacia unos efectos potencialmente más adversos en el sureste y el Mediterráneo (por ejemplo en relación con la demanda energética, la productividad agrícola, la disponibilidad de agua, los efectos sobre la salud, el turismo estival y los ecosistemas). En Europa septentrional y occidental se prevé un equilibrio más complejo entre los impactos negativos y positivos para los niveles moderados de cambio climático en las próximas décadas, con beneficios potenciales derivados de las nuevas oportunidades agrícolas y turísticas. A medida que avance el cambio climático, se prevé que terminen por imponerse los impactos negativos.

Por otra parte, está claro que aunque se frenaran hoy las emisiones actuales de gases de efecto invernadero, seguirán produciéndose cambios en el clima durante muchas décadas. Por tanto, además de la mitigación, es esencial desarrollar respuestas adaptadas y proporcionadas (adaptación) que permitan reducir los daños o detectar las oportunidades asociadas al cambio climático. También es necesario tomar en consideración los aspectos económicos de la adaptación. No obstante, hasta ahora, la investigación se ha centrado más en los impactos físicos del cambio climático que en los costes de estos impactos (su valoración económica) y en las acciones de adaptación.

Los costes económicos de los impactos del cambio climático, de no llevarse a cabo ninguna adaptación, se conocen como «costes de la inacción». Guardan

relación tanto con los impactos directos como con los indirectos, incluida la evolución socioeconómica asociada. La estimación de estos costes y de los costes de la adaptación está contribuyendo de modo creciente a articular mejor el debate político y, en particular, la discusión acerca de hasta dónde deben llegar los esfuerzos de mitigación a nivel mundial.

Como primer indicador, se analizan las pérdidas directas provocadas por los desastres naturales relacionados con la meteorología. Las tendencias pasadas indican que las pérdidas económicas originadas por dichos desastres han aumentado considerablemente, en especial durante los últimos años. Al no haberse observado todavía ningún aumento estadísticamente significativo en la frecuencia de fenómenos tales como las inundaciones, es probable que el aumento de las pérdidas económicas venga determinado fundamentalmente por otros factores, como un posible incremento en la intensidad de los episodios de inundaciones, el incremento de la riqueza a nivel mundial y de la posibilidad de contratar seguros, y la red creciente de infraestructuras vulnerables a dichos desastres. Por todo ello, se ha incluido también un indicador independiente para las pérdidas económicas derivadas de las inundaciones (que representan la mayor cuota de desastres naturales relacionados con la meteorología en Europa) para el que se han eliminado o «normalizado» dichos efectos socioeconómicos a fin de evaluar mejor la tendencia real referido a la meteorología/ el clima. Se ha demostrado que al utilizar dicho método de normalización, las pérdidas simuladas son en términos generales inferiores. En las secciones que figuran a continuación se ofrecen información y análisis adicionales para las zonas costeras, el abastecimiento público de agua, la agricultura y la silvicultura, la pérdida de biodiversidad y los bienes y servicios de los ecosistemas, la energía, el turismo y el ocio, la salud y la sociedad en su conjunto. Se recomienda leer estas secciones conjuntamente con la información acerca de los indicadores que se ofrece en el capítulo 5 y que no se repite en éste.

En el mapa que se incluye a continuación se muestra un breve resumen de los efectos económicos del cambio climático previsto en Europa.

Mapa 7.1 Ejemplos de efectos económicos potenciales en Europa



Fuente: Basado en Watkiss, 2006.

7.2 Pérdidas directas por desastres meteorológicos⁽¹¹⁾

Mensajes clave

- Aproximadamente el 90% de todos los desastres naturales que se han producido en Europa desde 1980 son directa o indirectamente atribuibles a circunstancias climáticas y meteorológicas. Alrededor del 95% de las pérdidas económicas ocasionadas por catástrofes naturales⁽¹²⁾ se deben a estas circunstancias de orden climático y meteorológico.
- El promedio anual de catástrofes relacionadas con el clima y la meteorología experimentó un aumento aproximado del 65% en Europa durante el período 1998-2007 en comparación con la media anual registrada durante la década de los ochenta, mientras que los fenómenos no relacionados con la meteorología (como por ejemplo los terremotos) no registraron alteraciones. Una proporción desconocida de este aumento puede atribuirse al cambio climático y el resto a los cambios registrados a nivel de concienciación dentro de los colectivos humanos/sociales.
- Las pérdidas totales resultantes de los fenómenos climáticos y meteorológicos han incrementado claramente durante los últimos 25 años. Aunque el cambio social y el desarrollo económico son las causas principales de dicho incremento, hay indicios de que también ha venido impulsado por las pautas cambiantes de los desastres meteorológicos. No obstante, todavía no es posible determinar en qué porcentaje el incremento de los daños puede atribuirse al cambio climático antropogénico.
- Si bien está previsto que en el futuro inmediato las pérdidas provocadas por los desastres aumenten debido, principalmente, al cambio social y al desarrollo económico, los efectos más graves del cambio climático antropogénico sobre los activos económicos se espera que tengan lugar durante la segunda mitad del siglo.

Relevancia

Los cambios en la frecuencia e intensidad de las tormentas, inundaciones y temperaturas extremas tienen repercusiones en el sector financiero, en particular las aseguradoras, ya que inciden en el importe de las indemnizaciones. Un examen de las pólizas de seguro relacionadas con los desastres meteorológicos puede ayudar a identificar qué sectores (por ejemplo, la agricultura, la silvicultura, las infraestructuras, la industria o los hogares) son los más afectados por los daños o podrían serlo en el futuro.

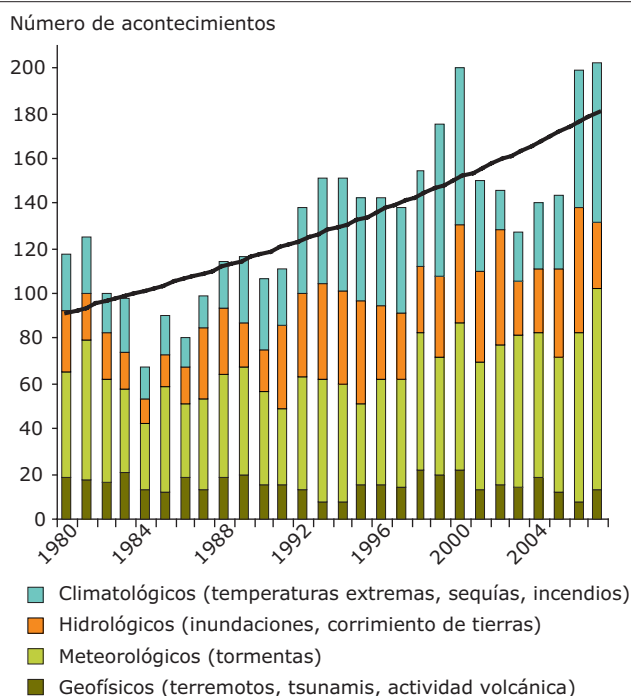
En un reciente informe publicado por la Iniciativa Financiera del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (IF del PNUMA, 2006) se estima que las pérdidas derivadas de los fenómenos meteorológicos se duplican a nivel mundial cada doce años. Aunque en el aumento observado de las pérdidas predominan factores socioeconómicos (como el incremento de la población, número de habitantes en las zonas vulnerables, la riqueza, la cantidad y el valor de las infraestructuras vulnerables), hay indicios de que los cambios apreciados en las pautas de los desastres naturales también han contribuido a dicho aumento (figura 7.1). Se desconoce, no obstante, qué

porcentaje de este incremento de las pérdidas puede atribuirse al cambio climático antropogénico (Höppe *et al.*, 2006).

Los mecanismos de indemnización mediante primas de seguros constituyen un elemento esencial para la gestión del riesgo y desempeñan por tanto una función importante en la adaptación al cambio climático, ya que engloban los riesgos residuales y proporcionan incentivos para la reducción del riesgo. De hecho, las aseguradoras, mediante su política de cobertura, pueden aumentar la sensibilización al riesgo y proporcionar incentivos para mitigarlo. Las aseguradoras tienen un interés inherente en minimizar los impactos del cambio climático a fin de cubrir los riesgos residuales. Mediante su política de inversiones y de gestión de activos, el sector financiero en su conjunto (aseguradoras, entidades de crédito y ahorro y otros inversores institucionales) ejerce una gran influencia sobre las decisiones de inversión de las empresas. Pueden así asegurarse que todas las inversiones ofrezcan una mayor capacidad de recuperación frente al cambio climático y canalizar el dinero hacia proyectos relacionados con la adaptación y la mitigación. Por otro lado, las industrias más expuestas tendrán que responder mediante productos cada vez más innovadores como,

⁽¹¹⁾ Para presentar las tendencias del pasado en las pérdidas originadas por todos los desastres naturales relacionados con la meteorología (es decir, para esta sección), se ha utilizado la versión más reciente de la serie de datos Munich Re, que no está normalizada, lo que constituye una diferencia con el indicador normalizado sobre pérdidas ocasionadas por desastres provocados por crecidas de ríos que se presenta en la sección 7.3.

⁽¹²⁾ The following definitions apply (Munich Re): (1) A 'major catastrophe' is defined as a 100+ fatalities event with overall losses in excess of USD 200 m; (2) A 'devastating catastrophe' is defined as a 500+ fatalities event with overall losses in excess of USD 500 m; (3) A 'great natural catastrophe' or 'GREAT disaster' is defined as leading to thousands of fatalities with the economy being severely affected and extreme insured losses (UN definition); interregional or international assistance is necessary, hundreds of thousands are made homeless.

Figura 7.1 Desastres naturales en Europa durante el período 1980–2007

Fuente: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Munich Re), Geo Risks Research, NatCatSERVICE, 2008.

por ejemplo, la emisión de bonos en caso de catástrofe (Bouwer *et al.*, 2007).

Tendencias en el pasado

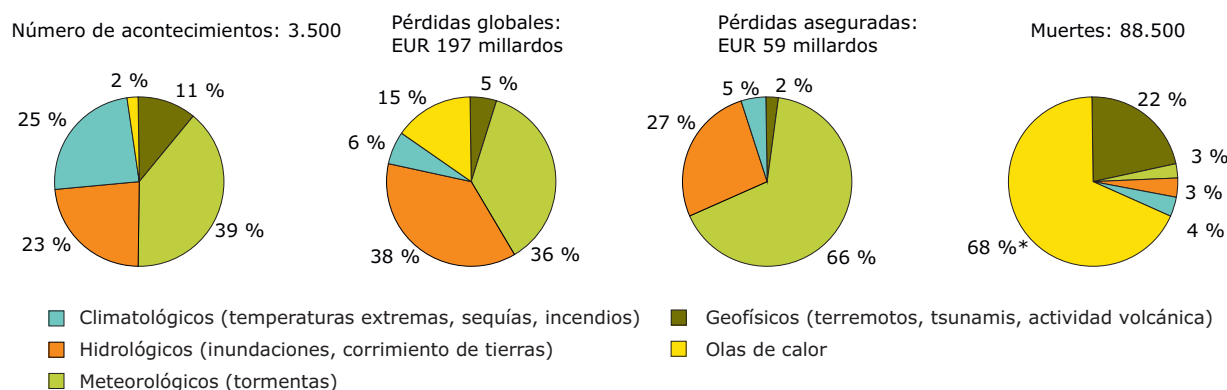
En Europa, el 64% de las pérdidas registradas desde 1980 son directamente atribuibles a fenómenos meteorológicos y climáticos (inundaciones, tormentas y olas de calor) y el 25% a incendios forestales, olas de frío, corrimientos de tierras y aludes, también relacionados con el clima y la meteorología. El 95% de las pérdidas globales y el 78% de las muertes

provocadas por catástrofes son consecuencia de estos fenómenos climatológicos y meteorológicos (figura 7.2).

En Europa, el promedio anual de fenómenos relacionados con el clima y la meteorología aumentó un 65% aproximadamente durante el período 1998–2007 en comparación con la década de los ochenta, mientras que los fenómenos no climáticos, como los terremotos, no registraron alteraciones (figura 7.1). Un porcentaje indeterminado de dicho aumento puede atribuirse al cambio climático, debiéndose el resto a los cambios producidos en el grado de sensibilidad de los colectivos humanos/sociales.

En Europa, las pérdidas globales causadas por los fenómenos climáticos y meteorológicos aumentaron durante el período 1980–2007 desde un valor medio inferior a los 7.200 millones de euros (1980–1989) por década hasta los 13.700 millones aproximadamente (1998–2007). Seis de los nueve años con mayores pérdidas globales registradas durante este período fueron posteriores a 1999 (figura 7.3). En términos generales, se produjo un aumento de las pérdidas aseguradas, aunque con una gran variabilidad interanual.

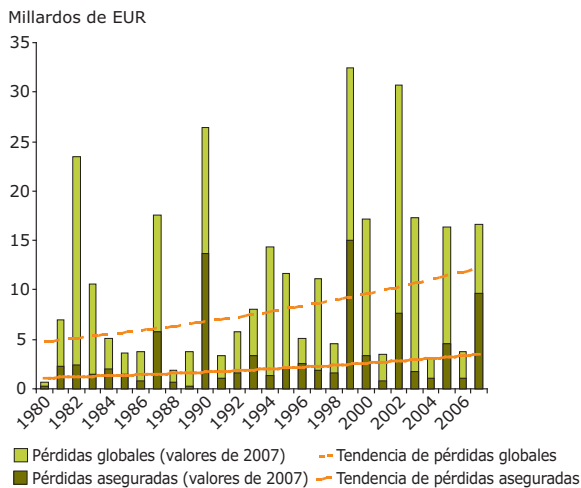
Entre los fenómenos extremos especialmente catastróficos registrados en Europa durante los últimos años cabe citar las graves inundaciones que afectaron a Europa central en agosto de 2002 y la prolongada ola de calor de 2003. Las inundaciones en Austria, la República Checa, Alemania, Eslovaquia y Hungría en 2002 provocaron pérdidas globales por valor de hasta unos 16.800 millones de euros y pérdidas aseguradas de alrededor de 3.400 millones (Munich Re, 2008). La ola de calor de 2003 (Schär *et al.*, 2004) ocasionó un número muy elevado de muertes en Europa noroccidental y en el Mediterráneo, muy por encima de las cifras habituales

Figura 7.2 Desastres naturales en Europa 1980–2007

Nota: * La mayor parte de las víctimas fueron ancianos que murieron durante la ola de calor de 2003 (sobremortalidad).

Fuentes: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Munich Re), Geo Risks Research, NatCatSERVICE, 2008.

Figura 7.3 Pérdidas globales y aseguradas causadas por desastres meteorológicos en Europa 1980-2007



Fuentes: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Munich Re), Geo Risks Research, NatCatSERVICE, 2008.

(Kovats y Jendritzky, 2006; Robine *et al.*, 2007), así como pérdidas considerables en la agricultura y el sector energético. Por ejemplo, las pérdidas totales registradas durante el cálido verano de 2003 en Francia (incluida la presión sobre la producción de electricidad, el sistema de transporte, los bosques y otros ecosistemas, incluidos los incendios y la pérdida de producción vitivinícola y de productividad agrícola) ascienden a un 0,1/0,2% del PIB, lo que representa entre 15.000 y 30.000 millones de euros.

Se estima asimismo que durante el verano de 2003 aumentó a su vez un 20% el número de reclamaciones por desplome de edificios en el Reino Unido, cifradas en torno a 30 y 120 millones de libras esterlinas, y los daños en las infraestructuras de transporte (deformación de vías y hundimiento de carreteras), en torno a los 40 millones (Watkiss *et al.*, 2006).

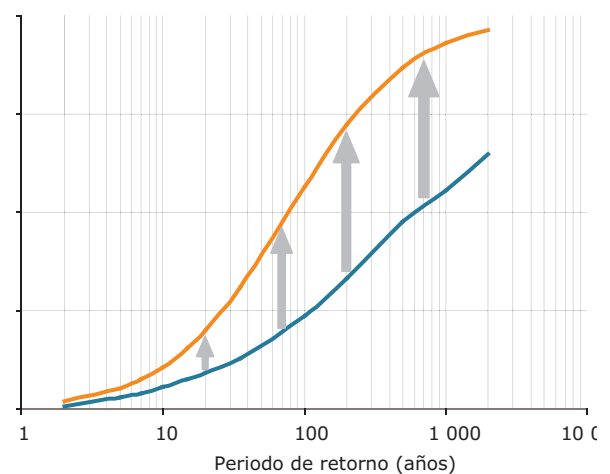
Proyecciones

Se prevé que la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor, sequías y precipitaciones intensas aumenten en Europa, como también se prevé que aumente el número de personas en situación de riesgo (IPCC, 2007a). No obstante, sigue sin conocerse con certeza la escala temporal y el riesgo asociados durante los próximos 20 años. Los efectos más graves del cambio climático antropogénico se esperan durante la segunda mitad del siglo.

Tampoco es fácil prever los efectos de los fenómenos extremos en el futuro debido al aumento de la exposición provocado por cambios que afectan al desarrollo económico, que aumenta el valor y la densidad del capital físico y humano. Se espera que las pérdidas provocadas por desastres aumenten más rápidamente que el crecimiento económico medio, lo que acentúa la importancia de reducir el riesgo (Bouwer *et al.*, 2007).

No obstante, Swiss Re ha calculado que en Europa los costes de un fenómeno tormentoso con una recurrencia de cien años⁽¹³⁾ podrían duplicarse durante la década de 2080 a causa del cambio climático (hasta 40.000 millones de euros frente a los 20.000 millones actuales), mientras que las pérdidas provocadas por tormentas se calcula que aumentarían entre 16- 68% durante el mismo período. La Asociación Británica de Aseguradoras (Association of British Insurers, ABI, 2005, 2007) informa de un aumento estimado de dos tercios en las pérdidas anuales provocadas por los huracanes, tifones y vendavales durante el período 2080-2090, lo que se traduce en 18.000 millones de euros; además, indica que los costes provocados por desplomes en el Reino Unido podrían aumentar un 50% en las zonas de suelo arcilloso durante los próximos 50 años a causa del cambio climático, y que para el período 2040-2050 se prevé que más de la mitad de los veranos europeos sean más cálidos que el de 2003, durante el cual aumentó significativamente el número de ingresos hospitalarios y muertes

Figura 7.4 Ejemplo del ajuste de la distribución de las pérdidas como consecuencia del riesgo cambiante



Nota: Los modelos pueden generar una curva de la pérdida máxima probable (PMP), un diagrama que constituye una función de la cuantía máxima que puede perder un asegurador en un intervalo de períodos de retorno (años).

Fuente: Munich Re, 2007.

(13) Fenómenos que se producen, por término medio, sólo una vez cada cien años.



Fotografía: © Münchener Rück Stiftung, München

prematuras. Por último, informan que para 2050, en Londres, durante una cuarta parte de las horas de trabajo aproximadamente, el calor superará los «niveles tolerables».

El posible incremento de los daños en el futuro aumentará la vulnerabilidad del sector de los seguros (véase la figura 7.4) y repercutirá considerablemente sobre la función de los servicios financieros en condiciones de cambio climático (IPCC, 2007b). En las zonas de alto riesgo, la población deberá hacer frente a dificultades cada vez mayores o a mayores costes para obtener un seguro adecuado.

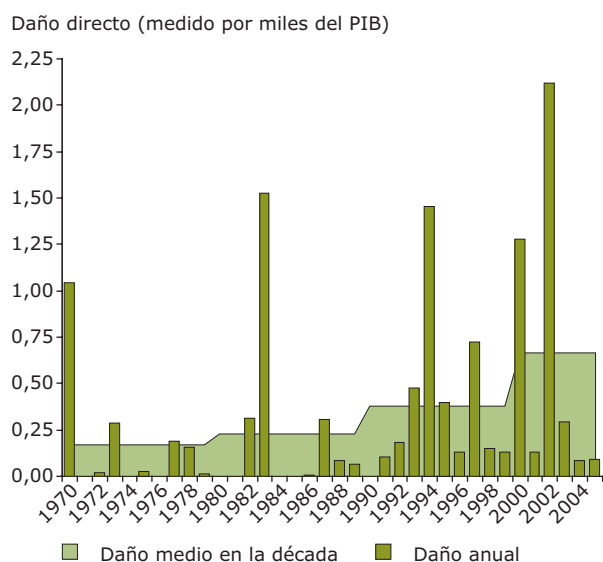
Es previsible que ello provoque un aumento de los niveles de activos no asegurados, sobre todo entre los grupos socialmente desfavorecidos, con el consiguiente agravamiento de las desigualdades. Esto podría llevar a los gobiernos a estudiar nuevas formas de garantizar que sobre todo los más pobres y los más vulnerables sigan disponiendo de acceso a los seguros y/o puedan ser indemnizados por posibles incrementos de las pérdidas en el futuro (por ejemplo, mediante regímenes de seguros públicos/privados como los introducidos en Bélgica y propuestos en los Países Bajos (Bouwer *et al.*, 2007)). Sin embargo, las marcadas diferencias en las previsiones climatológicas a lo largo del continente muestran que no existe una solución única aplicable a todos los países y sugieren que es posible que éstos tengan que instaurar regímenes de seguros diferentes para garantizar unos sistemas de indemnización en concepto de pérdidas sostenibles y flexibles.

7.3 Pérdidas normalizadas de los desastres provocados por las crecidas de los ríos

Mensajes clave

- Las pérdidas económicas provocadas por las inundaciones extremas de los últimos años han sido dramáticas. Los desastres provocados por las inundaciones⁽¹⁴⁾ aumentaron considerablemente en Europa entre 1990 y 2010. Se calcula que en 2002, en Europa central se perdieron 17.400 millones de euros, una cifra superior al PIB de Bulgaria durante el mismo año. El coste de las inundaciones en el Reino Unido durante el verano de 2007 se sitúa en torno a los 4.300 millones de euros.
- Aunque está científicamente demostrado que el ciclo hidrológico seguirá intensificándose, no se ha apreciado ninguna tendencia homogénea en los caudales/descarga de los ríos en Europa.
- Los análisis de registros a largo plazo de las pérdidas por inundaciones indican que los factores sociales, ambientales y económicos juegan un papel importante en la evolución ascendente observada.

Figura 7.5 Pérdidas por inundaciones en tanto por mil del PIB en la UE 1970–2005



Fuente: Barredo, 2007

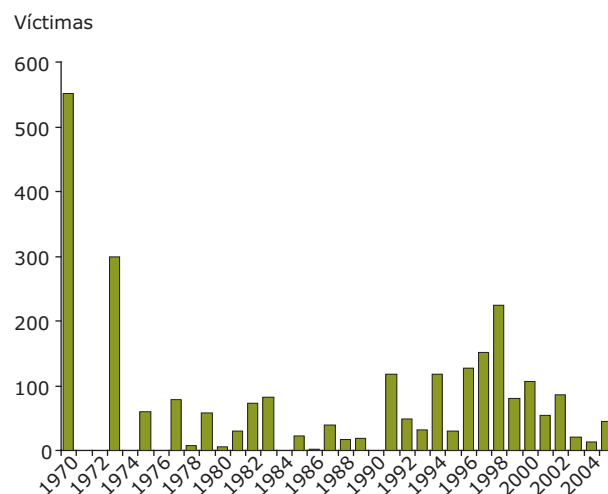
Relevancia

El incremento de las pérdidas provocadas por las inundaciones en Europa, dejando incluso a un lado el cambio climático, justifica sobradamente la inquietud suscitada. Las pérdidas económicas provocadas por las inundaciones en Europa se incrementaron desde la década de 1970 hasta la década de 2000 (Barredo, 2007). Además de la evolución ascendente registrada en los daños provocados por las inundaciones, las inundaciones inusualmente graves registradas durante la década 1990-2000 incrementaron la concienciación sobre las consecuencias económicas de las inundaciones. Las acaecidas en Polonia y en la República Checa en 1997 provocaron pérdidas en torno a los 5.200 millones de euros. En el año 2000, Italia, Francia y Suiza sufrieron pérdidas por valor de 9.200 millones de euros. En 2002, los daños materiales por valor de 17.400 millones provocados por las inundaciones ocurridas en Alemania,

la República Checa y Austria fueron mayores que en cualquier año anterior (Kundzewicz *et al.*, 2005) y se ha calculado que el coste de las inundaciones en el Reino Unido durante el verano de 2007 se sitúa en torno a los 4.300 millones de euros.

No hay indicios claros de una tendencia asociada con el clima referida a las inundaciones sobrevenidas en Europa durante las últimas décadas (Mudelsee *et al.*, 2003; Kundzewicz, 2005). Aunque existe evidencia científica de una intensificación continua del ciclo hidrológico a nivel mundial (Huntington, 2006), los caudales extremos de los ríos a escala europea o regional no presentan una tendencia homogénea. El análisis de los registros a largo plazo de las pérdidas provocadas por las inundaciones indica que los factores sociales, ambientales y económicos influyen considerablemente en las tendencias ascendentes constatadas (Pielke Jr y Downton, 2000; Mills, 2005; Barredo, 2007).

Figura 7.6 Número de víctimas mortales causadas por los desastres provocados por las inundaciones en la UE 1970–2005



Fuente: Barredo, 2007

⁽¹⁴⁾ Se ha utilizado el PIB como medida alternativa de la exposición al no disponerse de otras medidas directas para todos los países evaluados.

Tendencias en el pasado

El número de inundaciones y las pérdidas asociadas aumentaron en Europa desde la década de los 70 hasta la década de 2000. El número de desastres provocados por grandes inundaciones durante los últimos 16 años (entre 1990 y 2005) duplica el registrado entre 1970 y 1989 (Barredo, 2007, véase también la sección 5.5.3).

A la hora de evaluar las pérdidas provocadas por las inundaciones es importante equilibrar las variaciones que han sufrido el valor de los activos y la exposición al riesgo a lo largo del tiempo. Si no se ajustan correctamente los factores económicos, el volumen total de pérdidas no será directamente comparable a largo plazo y resultará una tendencia paulatinamente ascendente que obedece a motivos puramente económicos (Höppe y Pielke Jr, 2006; Muir Wood *et al.*, 2006). En consecuencia, la figura 7.5 muestra los costes de las pérdidas por inundaciones en Europa en forma de fracción del PIB⁽¹⁵⁾. Se aprecia así el incremento continuo del promedio que han representado, por década, los daños ligados a las inundaciones.

De hecho, durante el período 1970–1999, la evolución que registraron las pérdidas por inundaciones no fue estadísticamente significativa, y el aumento registrado durante el último sub-período es consecuencia de un único fenómeno, las inundaciones en Europa central durante el verano de 2002. No obstante, aunque los indicios señalan que el incremento de las pérdidas por inundaciones durante las últimas décadas guarda relación con factores sociales y climáticos, no es posible estimar claramente la participación de cada uno (Pielke Jr y Downton, 2000; Barredo, 2007), y en consecuencia, tampoco es posible determinar aún qué fracción del incremento de los daños podría ser atribuido al cambio climático o cuál correspondería a la evolución social y al desarrollo económico (Höppe y Pielke Jr, 2006). Existe acuerdo respecto al hecho de que el cambio climático no puede considerarse el factor predominante del incremento de las pérdidas por inundaciones. Por otro lado, tampoco se dispone de estudios concluyentes que avalen la hipótesis de los cambios registrados en la frecuencia de los caudales extremos de los ríos en Europa. En un hipotético escenario que no contemplase el cambio climático, las pérdidas totales por inundaciones seguirían aumentando a consecuencia de factores sociales y económicos, tales como el aumento de la exposición al riesgo y la vulnerabilidad (Pielke Jr y Downton, 2000).

La figura 7.6 muestra el número anual de víctimas mortales causadas por las inundaciones en Europa durante el período 1970–2005. No existe ninguna

tendencia clara. El número de muertes depende en gran medida de fenómenos únicos, caso por ejemplo de los fenómenos producidos en 1970 en Rumanía y Hungría, en 1973 en España y en 1998 en Italia. En las últimas décadas, los sistemas de alerta temprana y las medidas preventivas han mejorado los mecanismos de evacuación en muchas zonas expuestas a inundaciones.

La problemática de las precipitaciones extremas y de las inundaciones por aguas superficiales (pluviosidad intensa e insuficiencia de los sistemas de drenaje) también debe ser investigada, puesto que está provocando ya problemas y a la vez no se conoce lo bastante como para planificar los riesgos. Se ha estimado que las inundaciones acontecidas durante el verano de 2007 en el Reino Unido fueron provocadas principalmente por el desbordamiento de las aguas de superficie y por un drenaje inadecuado (aproximadamente el 60% de las pérdidas) mientras que el resto fue provocado por las crecidas de los ríos.

Proyecciones

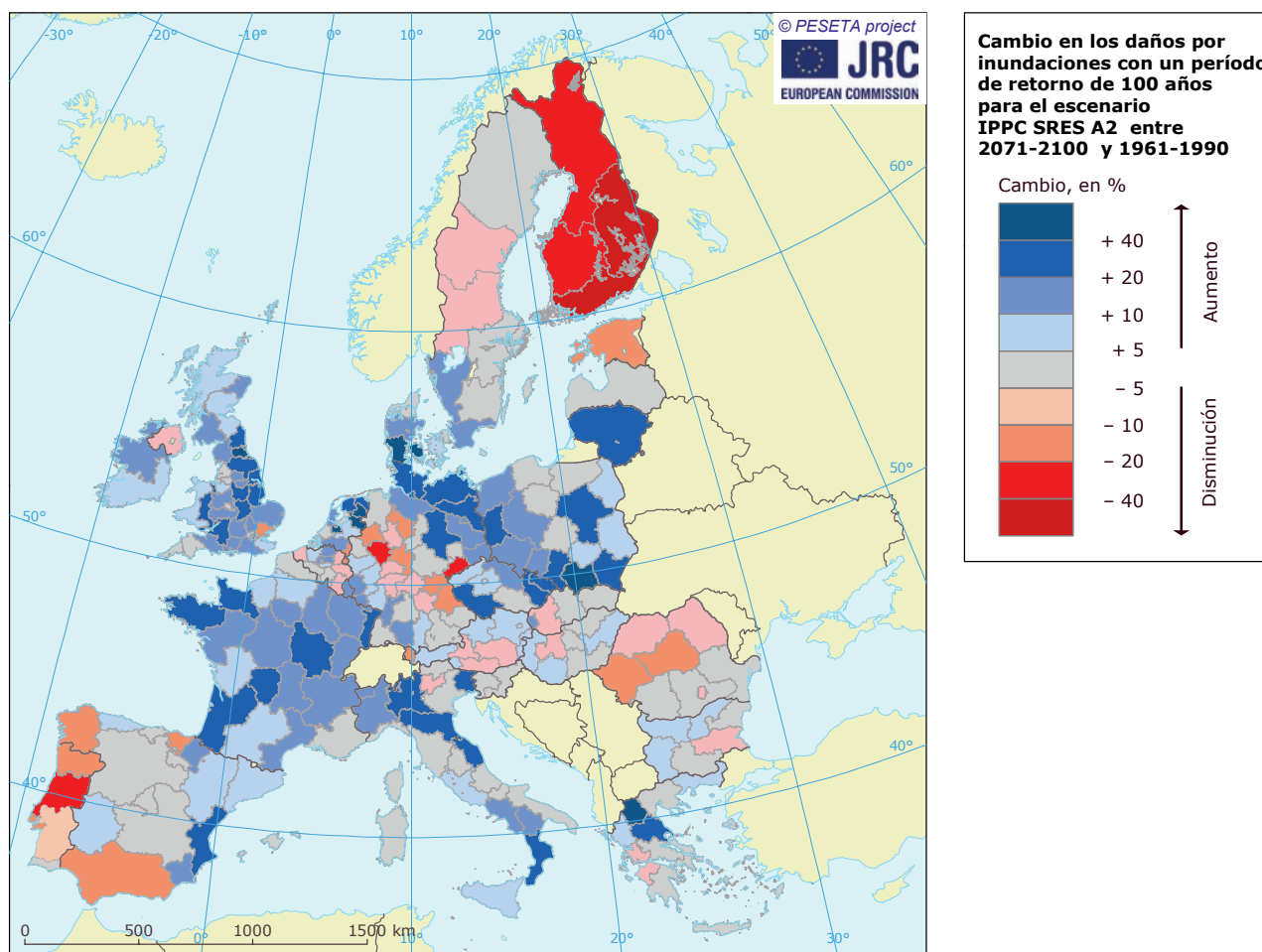
Algunas estimaciones preliminares (ABI, 2005) indican que las pérdidas anuales por inundaciones en Europa podrían experimentar un incremento de entre 100.000 y 120.000 millones de euros (diez veces más) hacia finales de siglo en un escenario hipotético de alto nivel de emisiones. Hall *et al.* (2005) presentaron una evaluación a escala nacional para Inglaterra y Gales y han previsto que el incremento de las pérdidas podría multiplicarse por veinte durante el período 2080–2090 en el supuesto de un mayor crecimiento económico y ausencia de adaptación. Estos resultados contemplan variaciones en la elevación del nivel del mar, un incremento de las precipitaciones y una mayor vulnerabilidad económica. Un trabajo desglosado en más profundidad y efectuado en el marco del proyecto PESETA⁽¹⁶⁾ ha modelizado los cambios de los caudales de los ríos en condiciones de cambio climático en Europa, analizando dos cuencas hidrográficas a fondo.

- Para el Alto Danubio, se prevé que los daños totales estimados para una gran inundación por siglo aumenten en 2100 en torno a un 40% respecto a la estimación actual de daños (un aumento de 18.500 millones de euros) en un escenario de alto nivel de emisiones (A2), y en torno al 19% en un escenario de nivel intermedio (B2). Se prevé que el número de personas afectadas aumentará en 242.000 (aproximadamente un 11%) en el escenario A2 y en 135.000 (alrededor del 6%) en el escenario B2.

⁽¹⁵⁾ GDP has been used as surrogate measure of exposure since other direct measures are not available for all the assessed countries.

⁽¹⁶⁾ En lo que resta de este capítulo se presentarán algunos de los resultados preliminares del proyecto PESETA sobre los efectos del cambio climático en Europa. El proyecto PESETA es un proyecto financiado por el CCI y coordinado por el IPTS, que ha aprovechado antiguos proyectos de la DG Investigación. Todos los resultados guardan relación con el mismo escenario (a menos que se indique lo contrario): el motor socioeconómico del A2 del IE-EE, el modelo de circulación global HadAM3H, el modelo climático regional HIRHAM. El proyecto PESETA también toma en consideración otros escenarios derivados de distintos motores socioeconómicos y distintos modelos climáticos (véase <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/>). Para obtener información sobre las crecidas de los ríos, véase <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Riverfloods.html>.

Mapa 7.2 Cambio previsto en los daños ocasionados por las crecidas de los ríos con un período de retorno de cien años entre 2071–2100 y 1961–1990



Nota: Cálculo con modelos realizado con el escenario A2 del IE-EE del IPCC y el nivel NUTS2.

Fuente: Proyecto PESETA del CCI (<http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Riverfoods.html>).

- Para el Mosa, se prevé que el daño potencial de una gran inundación por siglo aumente en torno a un 14% en el escenario A2 y en torno a un 11% en el escenario B2.

El marco de estos estudios regionales se ha ampliado con el fin de incluir las inundaciones fluviales para toda la UE. El mapa 7.2 muestra el cambio porcentual de los daños económicos provocados por las inundaciones con un período de recurrencia de 100 años para el escenario A2 del IE-EE.

No obstante, deben resaltarse una serie de incertidumbres en los resultados relativos a estas cuencas hidrográficas y al ámbito europeo. En primer lugar, las cifras representan el efecto combinado de los efectos climáticos y socioeconómicos, y, en segundo lugar, no contemplan ninguna medida actual o futura de protección y gestión de inundaciones⁽¹⁷⁾, por lo que, en términos estrictos, cuantifican la exposición potencial, no los impactos (aunque podrían subestimar las pérdidas

potenciales al no incorporar las variaciones producidas en la exposición). Esto destaca una cuestión general relativa al análisis climático y socioeconómico de los riesgos de inundación en el futuro. La investigación sobre los riesgos de inundación en los Países Bajos indica que las pérdidas económicas potenciales de las inundaciones (de ríos y mares) provocadas por el cambio socioeconómico podrían aumentar entre 22-45% en 2040 (WL Delft Hydraulics, 2007). No se ha tenido en cuenta la función específica del cambio climático puesto que se desconocen sus efectos sobre la gravedad y la frecuencia de las inundaciones. Además, se espera que, en el futuro, en los registros de pérdidas predominen los factores socioeconómicos (que seguirán dificultando los estudios de normalización) debido a las grandes imprecisiones asociadas a las estimaciones de pérdidas actuales frente a los datos geofísicos sobre la meteorología extrema en sí misma (Pielke Jr, 2007).

⁽¹⁷⁾ No existen conjuntos de datos disponibles para las medidas actuales en la totalidad de Europa, por lo que no se han tomado en consideración en la evaluación.

7.4 Zonas costeras

Mensajes clave

- Las inundaciones costeras pueden provocar pérdidas importantes. Para 2100, se espera que la población de las principales ciudades costeras de Europa amenazadas por la elevación del nivel del mar y los consiguientes impactos sobre los sistemas costeros se sitúe en torno a los 4 millones y que los activos sujetos a riesgo superen los 2 billones de EUR (sin adaptación).
- Las futuras proyecciones de elevación del nivel del mar y los consiguientes impactos sobre los sistemas costeros demuestran la posibilidad de

que se incremente el riesgo de inundaciones costeras. Dichos incrementos podrían tener costes económicos importantes (sin adaptación), situándose las estimaciones recientes en torno a los 12.000 a 18.000 millones de euros al año en Europa durante 2080 en el contexto del escenario A2 del IE-EE del IPCC. Las mismas estimaciones indican que la adaptación podría reducir considerablemente el coste de este riesgo a alrededor de 1.000 millones de euros.

El cambio climático constituye una presión adicional y, como revela el estudio sobre los efectos del cambio climático en los sistemas costeros europeos efectuado en el proyecto PESETA, es probable que repercuta significativamente en las zonas costeras, sobre todo mediante la elevación del nivel del mar y el cambio de la frecuencia o intensidad de fenómenos meteorológicos extremos como las tormentas y marejadas asociadas. Las zonas costeras europeas albergan grandes núcleos de población y actividades socioeconómicas significativas. Asimismo, son el sostén de ecosistemas diversificados que proporcionan hábitats y fuentes de alimentación importantes. Se calcula que un tercio de la población de la Unión Europea vive dentro de una franja costera de 50 km y que unos 140.000 km² de superficie terrestre se encuentran actualmente a menos de 1 m de altitud sobre el nivel del mar. Porcentajes importantes de las zonas costeras habitadas, por ejemplo en los Países Bajos, Inglaterra, Dinamarca, Alemania e Italia, se encuentran ya por debajo de los niveles habituales de la pleamar y hay otras zonas propensas a sufrir las inundaciones provocadas por marejadas.

Se dispone de estimaciones sobre los impactos físicos y los costes económicos que suponen para las costas europeas la elevación del nivel del mar y las inundaciones provocadas por tormentas. En el marco del proyecto PESETA⁽¹⁸⁾ se han desarrollado para Europa los resultados de la base de datos DIVA y del modelo elaborado en el proyecto de investigación DINAS-COASTS DG (Consorcio DINAS-COAST). Estos resultados demuestran que los impactos se agravan considerablemente de no mediar una adaptación: en el período 2080-2090, en el contexto del escenario A2 del IE-EE, se calcula que podrían perderse permanentemente alrededor de 2.000 a 17.000 km² del suelo europeo, lo que conduciría a que, en Europa, entre 0,1 y 1,3 millones de personas sufriesen inundaciones costeras cada año, dependiendo de la inestabilidad climática. Se estima que los costes económicos de estos fenómenos oscilarán en torno a los 12.000 y 18.000 millones de

euros anuales en Europa para 2080 (precios actuales)⁽¹⁹⁾. También se encuentran amenazadas grandes zonas de humedales costeros, afectando las pérdidas relativas más importantes a las costas del Mediterráneo y del Báltico.

ABI (2006) estima que una elevación del nivel del mar de 40 cm provocará el que, en el Reino Unido, aumente hasta 130.000 el número de propiedades expuestas al riesgo de inundación. En total, serán 400.000 las propiedades amenazadas, es decir, un incremento de casi el 50% en relación con la cifra actual. Si no se mejoran las actuales medidas defensivas contra las inundaciones, los costes de las grandes inundaciones costeras podrían aumentar en un 400% hasta alcanzar los 16.000 millones de libras esterlinas. También se encontrarán amenazados los servicios esenciales y los ciudadanos; por ejemplo, el 15% de los parques de bomberos y los puestos de ambulancias y el 12% de los hospitales y las escuelas se encuentran en zonas expuestas al riesgo de inundación. Las personas mayores se verán especialmente afectadas, ya que el número ellas que viven en la costa o se trasladan allí supera ampliamente la media nacional.

Sobre la misma proyección climática y de variación del nivel del mar (escenario A2 y período 2080-2090), incluyendo unas medidas enérgicas de adaptación (construcción de diques y regeneración de playas), el Consorcio DINAS-COAST y el proyecto PESETA sugieren que la pérdida de tierras sería inferior a los 1.000 km², con unos costes económicos de alrededor de 1.000 millones de euros al año. Se calcula que los costes de la adaptación (fundamentalmente protección costera por medio de diques) oscilarían en torno a los 1.000 millones de euros al año, pero con ello se lograrían importantes reducciones de los daños residuales.

ABI (2006) estima asimismo que una inversión entre 6.000 a 8.500 millones de libras esterlinas en la mejora de las defensas costeras repercutiría considerablemente sobre los daños, tanto en el presente como en el futuro. En otras palabras, se amortizarían prácticamente con

⁽¹⁸⁾ Véase <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Costalareas.html>.

⁽¹⁹⁾ Incluye el efecto combinado del clima y los futuros desarrollos socioeconómicos.

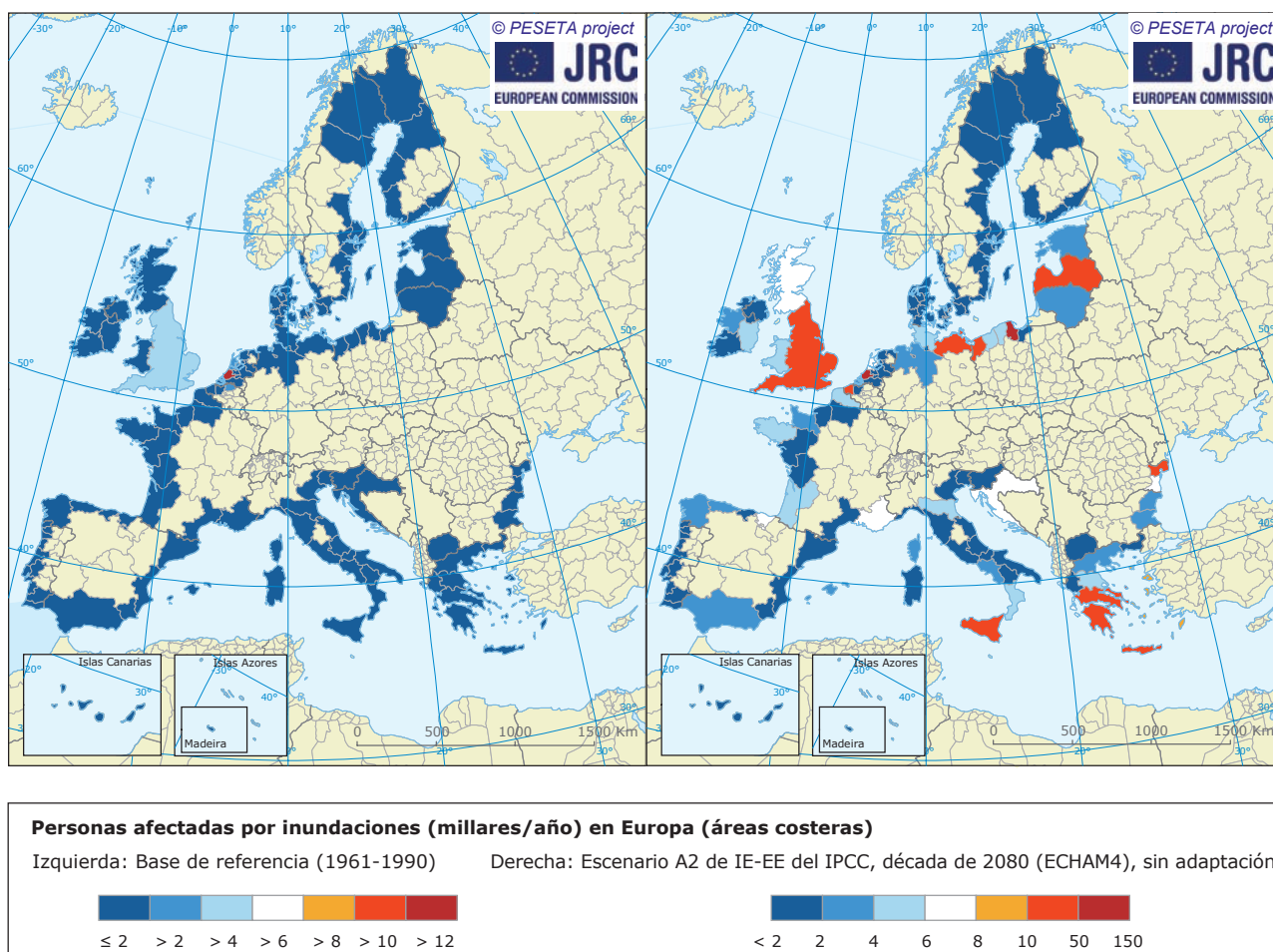
un solo incidente, al margen de los costes sociales y económicos más generales derivados de los daños regionales. Pero es evidente que las defensas costeras no son efectivas una sola vez: de hecho, este tipo de defensas prevendrían contra los daños provocados por múltiples marejadas de menor intensidad. Normalmente, este tipo de inversión de capital podría reportar beneficios durante su ciclo de vida por un valor siete veces superior al coste original. Los beneficios de este tipo de inversiones aumentarán incluso si, conforme a las previsiones, aumenta la frecuencia de las tormentas.

No obstante, son muchas las posibles medidas de adaptación (incluidas medidas blandas) que permitirían reducir al mínimo los impactos de la elevación del nivel del mar y reportarían importantes beneficios, como: protecciones costeras (por ejemplo, barreras físicas frente a las inundaciones y la erosión costera, como diques o barreras contra inundaciones); realineación de las protecciones costeras tierra adentro; abandono (gestionado o no); medidas para reducir la energía de las olas y corrientes en el litoral; gestión morfológica de las costas y estrategias destinadas a reforzar la resiliencia

de las construcciones. A pesar de que la estimación entraña dificultades, cada vez es mayor la bibliografía que informa sobre los costes directos de la adaptación a la elevación del nivel del mar y en la que se estiman los niveles óptimos de protección basándose en un análisis costes-beneficios.

En trabajos recientes (OCDE, 2008) se han analizado asimismo las amenazas actuales y futuras asociadas con la elevación del nivel del mar (una media mundial de 0,5 metros) y las marejadas para las ciudades costeras más importantes. Se evaluó la exposición a un fenómeno de inundación con un índice de recurrencia de una vez cada cien años, centrándose en la población y en el valor de los activos sujetos a riesgo en la situación actual y con elevación del nivel del mar en 2100 en las siguientes ciudades: Amsterdam, Rotterdam, Hamburgo, Londres, Copenhague, Helsinki, Marsella-Aix-en-Provence, Atenas, Nápoles, Lisboa, Oporto, Barcelona, Estocolmo y Glasgow. En estas ciudades, la población en situación de riesgo pasa de 2,3 millones a 4,0 millones y los activos en situación de riesgo de 240 a 1.400 millardos de euros (siendo las más afectadas, Londres, Amsterdam y Rotterdam).

Mapa 7.3 Modelización del número de personas afectadas por las inundaciones en las zonas costeras de Europa durante los períodos 1961–1990 y 2080–2090



Fuente: Proyecto PESETA del CCI (<http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Costalareas.html>).

7.5 Abastecimiento público de agua y gestión del agua potable

Mensajes clave

- Las consecuencias económicas de los impactos del cambio climático serán especialmente acusadas en zonas en las que se prevé un incremento del estrés hídrico. En la actualidad empiezan a aparecer estudios en los que se evalúan las consecuencias económicas del incremento del estrés hídrico, en los que se indica que los costes de adaptación son, en términos generales, considerablemente inferiores a las pérdidas que se producirían si no mediara la adaptación.

Las variaciones en la demanda de agua dependen en gran medida del crecimiento económico y sectorial y de los desarrollos sociales. Se prevé que el cambio climático lleve aparejado un aumento de la demanda de agua para consumo doméstico, utilizándose más agua para regar los jardines y para la higiene personal, aunque existe una diferencia clara entre los componentes sensibles al cambio climático (la ducha, la jardinería, el riego del césped con aspersores, los campos de golf, las piscinas y los parques acuáticos) y los que no lo son (como el lavado de la vajilla y de la ropa). Los cambios en la cantidad y la calidad de los caudales de los ríos y la recarga de los acuíferos podrían afectar a los sistemas de abastecimiento de agua potable y alterar la fiabilidad de los recursos hídricos en origen (para obtener información más detallada véase el capítulo 5).

Los problemas de abastecimiento de agua en las islas y en los complejos turísticos son cada vez más frecuentes. Chipre, por ejemplo, está considerando la posibilidad de trasladar agua en buques cisterna desde el Líbano. Veranos cálidos como los de 2003 y 2007 podrían proporcionar una aproximación a los futuros impactos climáticos sobre los picos de demanda de agua (por ejemplo, un aumento del 15% en la demanda pública en los Países Bajos en agosto de 2003; la declaración del estado de emergencia en las Islas Cícladas (Grecia) en el verano de 2007 y el descenso del nivel del agua en los embalses hasta situarse por debajo del 5% de su capacidad en la capital de Turquía (Ankara, donde residen 4 millones de personas). No obstante, otros estudios indican que el aumento en la demanda de agua del sector doméstico podría ser bastante reducido. Downing *et al.* (2003) han llegado a la conclusión de que

la demanda doméstica *per cápita* podría aumentar en Inglaterra entre un 2 y un 5% durante los próximos 20-50 años como consecuencia del cambio climático.

La elevada temperatura del agua, los bajos caudales de los ríos y, por lo tanto, la menor dilución de contaminantes pueden tener graves consecuencias sobre la calidad del agua potable y las actividades de ocio relacionadas con el agua. La intrusión salina en los acuíferos costeros, causante de que el agua no sea apta para el consumo humano, podría agravarse debido a la futura elevación del nivel del mar.

Estos efectos tienen consecuencias económicas, especialmente en zonas donde se han pronosticado elevaciones del estrés hídrico. Según Alcamo *et al.* (2007) se prevé que en Europa, el porcentaje de la superficie terrestre sometida a un estrés hídrico elevado pase del 19% actual al 35% entre 2070 y 2080, y se espera que el número adicional de personas afectadas se sitúe entre los 16 y los 44 millones. Empiezan a publicarse estudios sobre las consecuencias económicas del aumento del estrés hídrico. De acuerdo con las estimaciones de un estudio publicado en el Reino Unido, las pérdidas económicas en los hogares debidas a la pérdida de usos del agua por causa del déficit hídrico previsto para 2100 en el sureste de Inglaterra se situarían entre los 41 y los 388 millones de libras esterlinas al año (en función del escenario). Sin embargo, los costes de la adaptación orientados a eliminar en gran medida (aunque no por completo) estos déficits serían de solamente 6 a 39 millones de libras esterlinas al año.

7.6 Agricultura y silvicultura

Mensajes clave

- Se calcula que el cálido verano de 2003 provocó pérdidas económicas por valor de 10.000 millones de euros en la agricultura, la ganadería y la silvicultura europeas derivadas de los efectos combinados de las sequías, el estrés térmico y los incendios.
- Vinculados a las circunstancias climáticas, se esperan incrementos en los rendimientos de las cosechas principalmente en Europa septentrional (alrededor del 10%), así como reducciones (como mínimo del 10%) en el Mediterráneo y en la zona suroccidental de los Balcanes.
- Es previsible que a causa del cambio climático se produzcan variaciones en el crecimiento forestal, con las consecuencias económicas que ello implica, aunque las proyecciones sobre los futuros cambios netos en Europa están sujetas a incertidumbre.

Agricultura

La agricultura representa solamente un pequeño porcentaje del producto interior bruto (PIB) de Europa y se considera que la vulnerabilidad global de la economía europea a los cambios que afectan a la agricultura es baja (AEMA, 2006). Sin embargo, la agricultura es mucho más importante en términos de superficie ocupada (la tierra agrícola y forestal ocupa aproximadamente el 90% de la superficie terrestre de la UE) y de población rural e ingresos. El sector agrícola ejerce una fuerte influencia sobre otros sectores y, además, los efectos del cambio climático podrían ser sustanciales a escala europea a causa de la distribución espacial de los cambios. Los indicadores económicos globales guardan una relación parcial con el rendimiento total y los precios de mercado, así como con muchos otros factores (por ejemplo, las subvenciones, los costes de mano de obra y de producción, las variaciones de los precios globales, la eficiencia y la productividad, el desarrollo tecnológico, la demanda de los consumidores y el desarrollo socioeconómico)⁽²⁰⁾. Por tanto, el cambio climático es tan sólo una más de las diversas fuerzas motrices que definirán el futuro de la agricultura y de las zonas rurales en las próximas décadas. Para determinar las futuras evoluciones en este sector, los factores socioeconómicos y los avances tecnológicos deberán analizarse en paralelo con los cambios agroclimáticos. En este sentido, la mayor parte de los impactos previstos sobre los rendimientos de las cosechas a largo plazo no consideran completamente ni el progreso tecnológico ni la adaptación.

La agricultura es un sector más importante en los países de Europa meridional (zona del Mediterráneo) y de Europa suroriental en términos de empleo y de PIB, y estos países deberán hacer frente a presiones más acusadas como consecuencia del cambio climático,

presiones que llevarán a una pérdida de rendimiento. La pérdida del potencial agrícola supondría además una mayor pérdida de ingresos en estas regiones que en el resto de Europa.

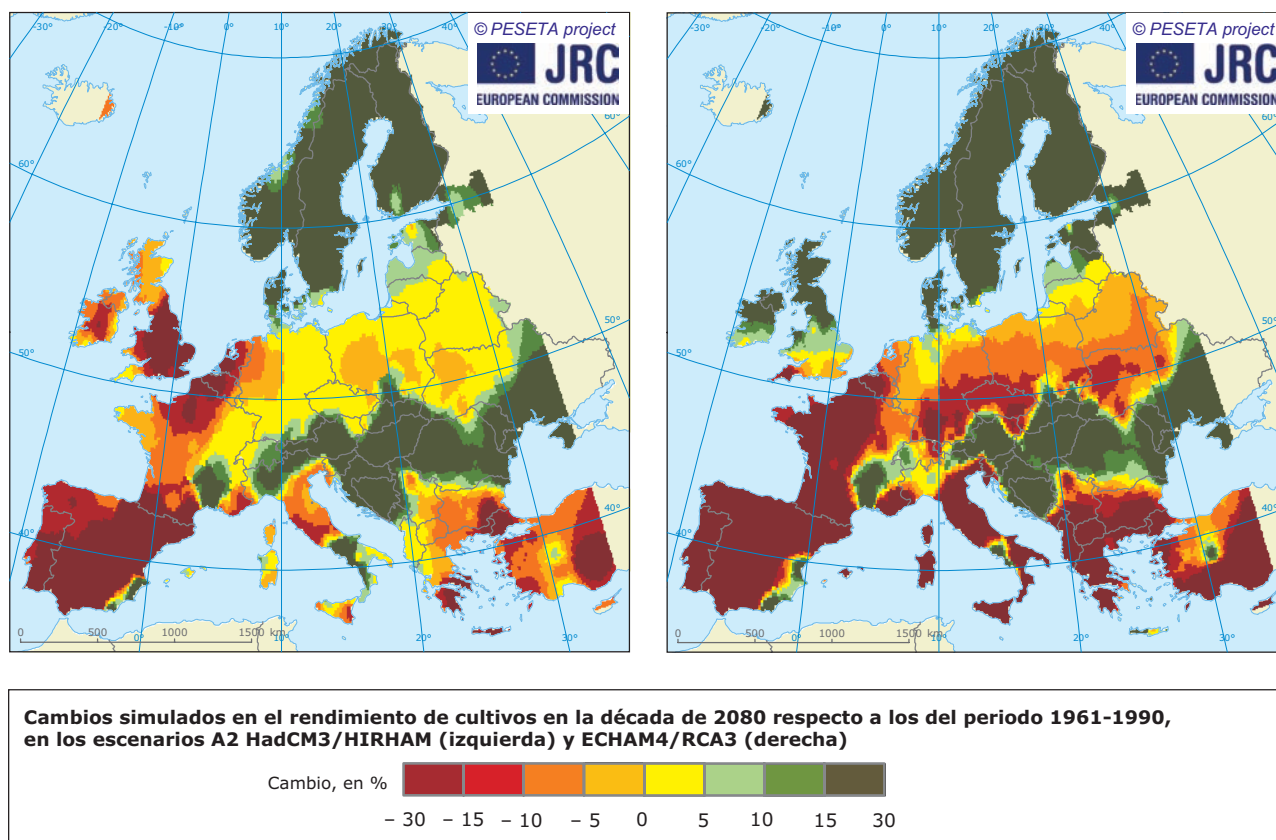
En cambio, se considera que los sistemas agrícolas de Europa occidental presentan más estabilidad frente al cambio climático, de modo que las predicciones realizadas mediante modelización muestran oportunidades similares en lo que se refiere a incremento de los rendimientos y a una mayor diversificación de los cultivos agrícolas en Europa septentrional. El cuarto informe de evaluación del IPCC (2007b) concluye que, según las previsiones, el cambio climático tendrá, inicialmente, efectos no definidos en Europa septentrional, con ciertos beneficios como el aumento del rendimiento de las cosechas y el desarrollo forestal, pero que, pese a todo, a medida que avance el cambio, cabe prever que los impactos negativos prevalezcan sobre los positivos.

La mayoría de los análisis incorporan actualmente la adaptación (autónoma) y reflejan una probable tendencia de los productores a modificar las prácticas y los tipos de cultivo por región a medida que el clima varía. Diversos estudios muestran las pautas espaciales previsibles antes mencionadas, con una marcada distribución de los cambios en el rendimiento en toda Europa, tal y como se detectó en el reciente proyecto PESETA⁽²¹⁾, que incluye proyecciones de los cambios de los rendimientos a escala regional para el período 2080-2090. El estudio revela que en Europa meridional y occidental se podría experimentar una disminución de los rendimientos del 10% o más (debido, entre otras cosas, a la reducción de la estación de crecimiento), en tanto que se producirían mejoras de los rendimientos en los países nórdicos (aumento de la estación de crecimiento y temperaturas mínimas más altas en

⁽²⁰⁾ Actualmente no se dispone de datos detallados sobre la distribución de las subvenciones por cultivo y región.

⁽²¹⁾ Véase <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Agriculture.html>.

Mapa 7.4 Cambios previstos por dos modelos distintos en el rendimiento de los cultivos entre 2080-2090 y el período de referencia 1961-1990



Nota: Cálculos realizados con modelos utilizando un escenario de alto nivel de emisiones (A2 del IPCC) y dos modelos climáticos distintos: HadCM3/HIRHAM (izquierda), ECHAM4/RCA3 (derecha).

Fuente: Proyecto PESETA del CCI (<http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Agriculture.html>).

invierno). El descenso general de los rendimientos en Europa meridional irá unido a una mayor demanda de agua. Recientes evaluaciones realizadas en el Reino Unido adelantan aumentos de los rendimientos y también de los ingresos para el período 2020-2030, aunque se produce un descenso durante el período 2050-2060 y se esperan unas pérdidas económicas de hasta 24 millones de libras esterlinas al año para el período 2080-2090, sobre todo en zonas situadas más al sur donde el agua está cada vez más limitada.

Sin embargo, si bien es cierto que estos modelos suelen tener en cuenta los efectos de las variaciones previstas en la temperatura y la fertilización de CO₂, lo cierto es que no siempre se hacen eco de todos los aspectos relacionados con la disponibilidad de agua y muy rara vez prestan atención a los fenómenos extremos que podrían ser relevantes para Europa, en particular los calores extremos y las inundaciones. Valgan como ejemplo las sequías de 1999, que provocaron pérdidas

por valor de más de 3.000 millones de euros en España (AEMA, 2004) o el verano extremadamente caluroso de 2003 en Europa, cuyas pérdidas económicas se cifran en 10.000 millones de euros para la agricultura, la ganadería y la silvicultura a causa de los efectos combinados de la sequía, el estrés térmico y los incendios (Munich Re, 2008)⁽²²⁾. En consecuencia, la gestión dinámica de los riesgos y un régimen de cobertura y de seguro serán vitales para la agricultura europea en el futuro próximo. Se necesitará asimismo un profundo cambio de paradigma con el fin de incentivar la adaptación autónoma y planificada.

En último término, el papel de la adaptación autónoma y planificada es de extrema importancia para la agricultura, como han puesto de relieve un considerable número de estudios. Si bien la mayoría de los análisis se centran en la adaptación autónoma a corto plazo, también son posibles las adaptaciones a largo plazo bajo la forma de cambios estructurales a gran escala y

⁽²²⁾ En términos globales, también se ha estimado que los efectos positivos netos sobre las industrias agrarias, frutícolas y vitivinícolas del Reino Unido han ido acompañados de unos beneficios económicos estimados de 64 millones de libras esterlinas. No obstante, los autores desean señalar que no es posible concluir con ningún grado de confianza que estas ganancias/pérdidas sean plenamente atribuibles a las condiciones meteorológicas que imperaron durante el verano de 2003.

de avances tecnológicos orientados a superar los efectos negativos provocados por el cambio climático, que a menudo son resultado de una estrategia planificada. Una serie de estudios ha venido a corroborar los beneficios que para los agricultores entraña la adaptación para corregir los impactos negativos, si bien raramente se citan de manera explícita los costes de la adaptación.

Un estudio encargado recientemente por la CE (DG AGRI) sobre la adaptación al cambio climático en el sector agropecuario, desarrollado conjuntamente por la AEA-T y la Universidad Politécnica de Madrid, ha analizado los impactos, los riesgos, las posibles oportunidades y las opciones de adaptación para la agricultura de la UE (CE, 2007).

Dicho estudio revela, por ejemplo, que la larga sequía sufrida en Finlandia en 2002/2003 provocó unas pérdidas estimadas en 100 millones de euros, en comparación con épocas normales. Fue preciso trasladar agua en cisternas a más de 1.100 explotaciones agrícolas (Martilla *et al.*, 2005). Además, el estudio informa sobre la realización de recientes actividades de investigación como por ejemplo las desarrolladas a cabo en el Instituto Estatal de Economía Agraria de Letonia, relativas a un sistema de primas de seguros en la agricultura.

Los potenciales efectos económicos sobre la agricultura, más allá de los rendimientos de los cereales, también constituyen cuestiones claves. El incremento esperado de la variabilidad climática (fenómenos extremos) podría generar una variabilidad de la producción agrícola, de los precios de los alimentos y de las rentas agrarias, a medida que aumente la frecuencia de malas cosechas. La variabilidad meteorológica interanual es el determinante esencial de los niveles de rendimiento que determinan los precios y los riesgos inherentes a la agricultura.

Silvicultura

La silvicultura también representa un pequeño porcentaje del PIB europeo, si bien en buena parte de Europa constituye un importante sector económico a la vez que encierra un potencial para el almacenamiento de carbono y otros servicios ambientales. Es probable que los bosques europeos se vean afectados por el

cambio climático de manera que se altere la distribución de la superficie forestal (se expandirá en el norte y se contraerá en el sur), la composición de las especies, el rendimiento forestal y los daños ocasionados por los vendavales y los incendios forestales (Alcamo *et al.*, 2007, Eurostat Pocketbooks – Forestry statistics, edición de 2007). Las consecuencias económicas potenciales de los incendios forestales (esto es, una ampliación de la superficie proclive a los incendios y una prolongación de la época de incendios) incluyen la pérdida de producción y los costes directos de la lucha contra incendios. Durante la ola de calor de 2003 en Francia, los costes de la lucha contra los incendios forestales a los que tuvo que hacer frente el Ministerio del Interior aumentaron hasta los 179 millones de euros, frente a los 83 millones de un año normal.

Un estudio actualmente en curso encomendado por la CE (DG AGRI) sobre los impactos del cambio climático en los bosques europeos y las opciones de adaptación, dirigido por el Instituto Forestal Europeo (IFE), analiza en profundidad la exposición, la sensibilidad, los impactos potenciales, la capacidad de adaptación y la vulnerabilidad de los bosques europeos, así como las opciones de adaptación (CE, 2008a). El estudio señala que los daños forestales ocasionados por el viento y la nieve constituyen una constante fuente de pérdidas económicas para la silvicultura en toda Europa. El coste económico de los daños equivale aproximadamente a cientos de millones de dólares cada año. El impacto económico de los daños ocasionados por el viento es especialmente acusado en los bosques gestionados, dado el menor rendimiento de la madera recuperable, el aumento de los costes del clareo y de las talas no planificadas, así como los problemas resultantes en la planificación forestal. En Suecia, por ejemplo, la nieve y el viento producen daños en aproximadamente 4 millones de m³ de madera al año, lo que equivale a aproximadamente 100 millones de euros. .

Si bien es posible conocer los efectos económicos de la producción maderera utilizando los precios de mercado, los bosques (naturales y gestionados) desempeñan una función que en absoluto se limita exclusivamente a la producción de madera, por lo que es necesario avanzar hacia una evaluación económica total de la silvicultura que incluya todos los bienes y servicios de los ecosistemas.

7.7 Los bienes y servicios de los ecosistemas y la biodiversidad

Mensajes clave

- El trabajo realizado en el marco de la primera fase de la iniciativa conjunta «La economía de los ecosistemas y la biodiversidad» indica en principio que las pérdidas acumuladas de calidad de vida originadas por la pérdida de los servicios que prestan los ecosistemas podrían equivaler al 7% del consumo anual para 2050. Este cálculo de los daños atribuye a una serie de causas la pérdida de biodiversidad, incluido el cambio climático como uno de los factores de presión. No obstante, es muy poco lo que sabemos actualmente a nivel ecológico o económico sobre las repercusiones de la futura pérdida de biodiversidad y es necesario profundizar en el trabajo metodológico y de evaluación.
- Los métodos empleados para la evaluación de los ecosistemas están mejorando, pero todavía no es posible abarcar un intervalo amplio de la productividad, los bienes y los servicios de los ecosistemas, ni el beneficio económico que reportan para los usuarios directos e indirectos.

Los servicios prestados por numerosos ecosistemas naturales y semi-naturales europeos están amenazados por los cambios en el uso del suelo y por otros tipos de presión, como el cambio climático. Estos servicios incluyen el suministro de alimentos y agua, la regulación del clima y la conservación de especies. Las zonas especialmente sensibles incluyen la región ártica, las montañas y varias zonas costeras, especialmente en el Báltico y en partes del Mediterráneo. Los servicios que prestan los ecosistemas pueden subdividirse en servicios de sustento, de aprovisionamiento, de regulación y de índole cultural. La mayoría de estos servicios tienen un valor comercial directo, por ejemplo, los alimentos, la pesca, la madera y el agua dulce. Sin embargo, otras funciones como las de regulación, patrimonio cultural, o las ligadas a la capacidad de los ecosistemas para proporcionar hábitats naturales a la flora y a la fauna, y sustentar la biodiversidad no tienen un precio directo de mercado, pero en determinados casos es posible estimar su valor.

Ciertos trabajos de investigación en curso o ya concluidos han intentado evaluar la pérdida de los ecosistemas, reflejando no solo la productividad, bienes y servicios de las mismas, sino también su uso en un sentido más amplio, y utilizan cada vez más el marco de Evaluación de Ecosistemas del Milenio (*Millennium Ecosystem Assessment*) (MEA, 2005). Este marco se sirve del ritmo de extinción (miles de especies por milenio) para ilustrar algunas de las variaciones registradas por los servicios que prestan los ecosistemas. También existe un corpus creciente de estudios económicos más generales sobre los ecosistemas y la biodiversidad, así como de trabajos en los que se estudian aquellos lugares donde la pérdida de biodiversidad ha provocado la pérdida o degradación de los servicios prestados por los ecosistemas y, por consiguiente, pérdidas económicas. No obstante, aunque los métodos de valoración de los ecosistemas están mejorando, todavía no abarcan todo el espectro de la productividad, los bienes y servicios de los ecosistemas, ni los beneficios económicos directos e indirectos para los usuarios. Existen sin embargo algunos valores ilustrativos que muestran unas estimaciones potencialmente muy elevadas (por ejemplo, IPCC,

2007b). Así pues, en estos momentos resulta muy difícil presentar unos indicadores de los efectos económicos sobre los ecosistemas vinculados al cambio climático.

Tras los compromisos adquiridos en la reunión del G8+5 que congregó a los Ministros de Medio Ambiente en Potsdam en el mes de marzo de 2007, se ha presentado una iniciativa conjunta con la que se pretende llamar la atención sobre los beneficios económicos globales de la biodiversidad y el coste de la pérdida de la biodiversidad y la degradación de los ecosistemas titulada «La economía de los sistemas y la biodiversidad» (TEEB). En el marco de esta iniciativa se evaluarán los costes de la pérdida de biodiversidad y la correspondiente reducción de los servicios prestados por los ecosistemas a escala mundial. Tomará en consideración la inacción a la hora de tomar medidas protectoras frente a los costes de una conservación eficaz y de un uso sostenible y proporcionará información ampliada sobre las razones económicas para tomar medidas dirigidas a frenar la pérdida de biodiversidad. El informe intermedio (CE, 2008b), que ofrece los resultados de la primera fase de la iniciativa, se presentó al segmento de alto nivel de la novena Conferencia de las Partes (COP9, mayo de 2008) en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas cuyo objetivo consiste en reducir considerablemente la pérdida de biodiversidad para 2010. El trabajo realizado en el marco de la primera fase del TEEB indica en principio que las pérdidas acumuladas en concepto de calidad de vida⁽²³⁾ originadas por la pérdida de los servicios que prestan los ecosistemas podrían equivaler al 7% del consumo anual para 2050⁽²⁴⁾. Este cálculo de los daños atribuye la pérdida de biodiversidad a una serie de causas, entre ellas, el cambio climático como uno de los factores de presión.

El estudio revelaba que el problema es potencialmente grave y económicamente significativo, pero que nuestros conocimientos sobre los impactos de las futuras pérdidas de biodiversidad, tanto desde un punto de vista ecológico como económico, son relativamente limitados. En la segunda fase de la iniciativa está previsto ampliar el trabajo y profundizar en la elaboración del marco de evaluación y la metodología.

⁽²³⁾ Se calcula como una pérdida del bienestar y no como una pérdida del PIB debido a que actualmente son muchos los servicios de los ecosistemas que no se contemplan en el PIB.

⁽²⁴⁾ Se trata de una estimación conservadora. Se puede obtener información más detallada en CE, 2008b.

7.8 Energía

Mensajes clave

- Los datos históricos muestran que los días-grado de calefacción han disminuido estos últimos años en Europa, como una consecuencia positiva de la disminución de la calefacción en locales y edificios. La actual demanda energética derivada de estos cambios también viene determinada por factores técnicos y socioeconómicos, incluyendo los cambios en las pautas de conducta. En la actualidad, no se dispone de datos sobre los días-grado de refrigeración en Europa, aunque los datos nacionales muestran un cierto incremento de este parámetro durante el mismo período, en consonancia con el aumento de la demanda de refrigeración de locales.
- Las proyecciones de cambio climático en el futuro predicen una disminución de los días-grado de calefacción en Europa, pero un incremento de los días-grado de refrigeración. No es fácil predecir el cambio neto que registrará la demanda energética, aunque habrá unas marcadas pautas de distribución con una importante reducción de la demanda de calefacción de locales en Europa septentrional y un aumento de la demanda de refrigeración de espacios en Europa meridional, con los consiguientes costes y beneficios. También podría aumentar la demanda energética asociada a la adaptación al cambio climático, por ejemplo para el abastecimiento de agua.
- El cambio previsto en la escorrentía fluvial debido al cambio climático producirá un aumento mínimo de la producción de energía hidroeléctrica del 5% en Europa septentrional y un descenso del 25% o más en el sur. La seguridad de las presas puede verse afectada si cambian las condiciones climáticas y aumenta la frecuencia de los caudales extremos y de otros posibles riesgos naturales.
- El cambio climático podría tener consecuencias adversas para la producción de energía térmica, pues son muchos los estudios que demuestran que las sequías estivales serán más graves, lo que limitará la disponibilidad de agua de refrigeración en términos de cantidad, temperatura adecuada y eficiencia de la central eléctrica.

Demanda de calefacción y de refrigeración

Las industrias del sector energético son la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero en Europa y también se verán afectadas por el cambio climático. Numerosos estudios han demostrado que la demanda energética guarda relación con las condiciones climáticas (por ejemplo, la temperatura exterior), particularmente en el sector doméstico, pero también en el sector servicios y en la industria (Eurostat, 2007). En Europa, es previsible que el cambio climático provoque un descenso de la demanda de calefacción en invierno, pero también un aumento de la demanda de refrigeración en verano, lo que puede calificarse como un impacto o como una medida de adaptación capaz de compensar en algunos casos los efectos de la mitigación. Otros factores afectan también a la temperatura aparente y a la demanda energética asociada, como el enfriamiento eólico, la iluminación, la nubosidad y la precipitación.

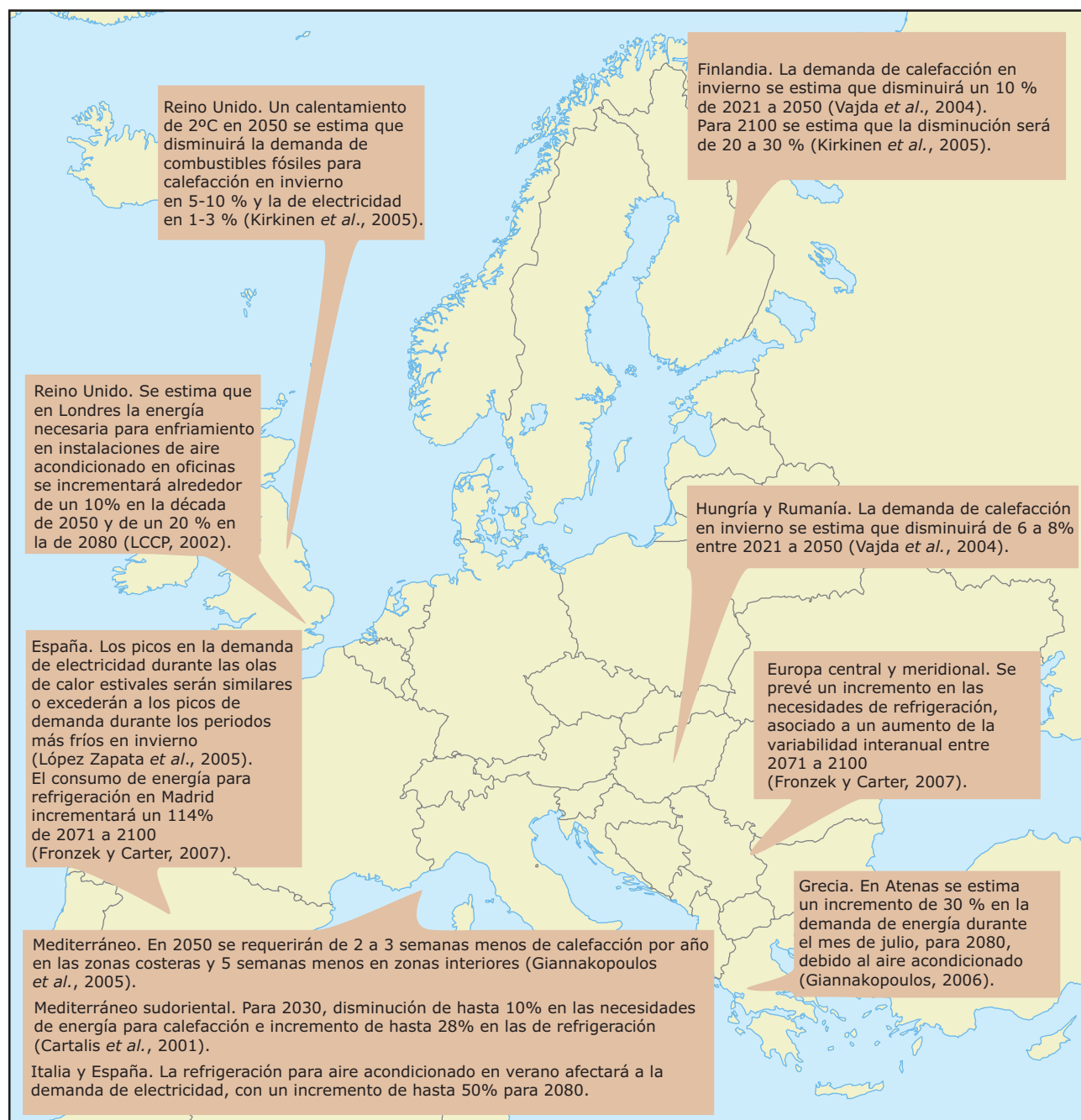
La demanda energética ha experimentado un incremento muy acusado en Europa durante los últimos años debido a factores técnicos, socioeconómicos y relacionados con las pautas de conducta (Eurostat, 2007). Desde 1997, el consumo final real de energía para calefacción se sitúa permanentemente por debajo del consumo

previsto corregido en función de la temperatura. Esto es sintomático de unos años más cálidos de lo normal a escala europea, lo cual viene a confirmar la información sobre los días-grado de calefacción. Los datos sobre los días-grado de calefacción muestran que los últimos años (desde 1996) son siempre inferiores a la media a largo plazo⁽²⁵⁾. Cabe señalar que en el momento actual, en la demanda energética neta en Europa prevalece la calefacción sobre la refrigeración. Sin embargo, es difícil separar (o «normalizar») el efecto específico que tiene la temperatura exterior sobre estos datos respecto al debido a los factores técnicos, conductuales y socioeconómicos⁽²⁶⁾. El indicador de días-grado de calefacción anteriormente mencionado muestra una evolución descendente, reflejo de los últimos años, más cálidos, que se traduce en una carga de calefacción invernal más reducida (un beneficio). Actualmente se dispone de menos datos sobre la demanda de refrigeración a escala europea, lo que no solo está relacionado con los niveles de confort humano sino también con la refrigeración de otras instalaciones.

Las proyecciones para Europa sugieren mayores reducciones de los días-grado de calefacción y mayores aumentos de los días-grado de refrigeración debido a los aumentos de la temperatura media.

⁽²⁵⁾ Los días-grado relativos se ponderan por población o por zona. El número de días-grado de calefacción varía considerablemente entre los distintos países europeos, siendo muy elevados en los países escandinavos y mucho menores en los países de Europa meridional, si bien existe una tendencia descendente en ambas regiones.

⁽²⁶⁾ Por ejemplo, los efectos de la población, la densidad de vivienda, el parque de viviendas, los niveles de aislamiento, la tecnología, el nivel de penetración de los equipos, la eficiencia de las unidades de calefacción o refrigeración, la conducta, los niveles de calidad de vida percibidos, los precios de la energía y los ingresos.

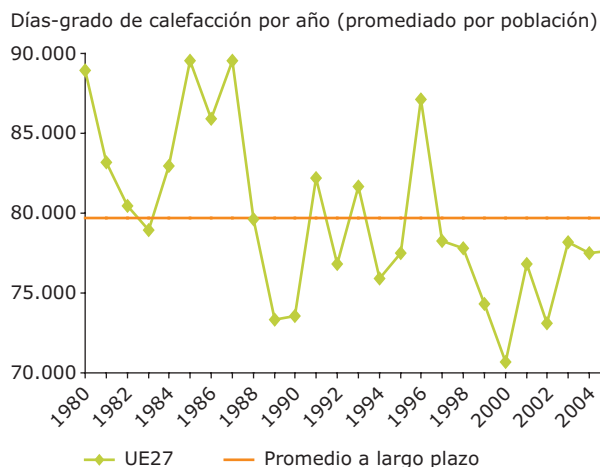
Mapa 7.5 Proyecciones de demanda energética en Europa para varios horizontes temporales

Fuente: Alcamo *et al.*, 2007.

En el caso de la refrigeración, podrían registrarse picos adicionales asociados a las olas de calor. Está previsto que los cambios globales en los costes económicos y energéticos (a un nivel neto) sean moderados a corto o medio plazo debido a los efectos agregados del descenso de la demanda invernal de calefacción frente al aumento de la demanda estival de refrigeración. No obstante, se espera que se produzcan unas marcadas pautas de distribución en Europa, con un aumento de la demanda de refrigeración (electricidad) en verano en Europa meridional, frente a la reducción de la demanda de calefacción (energía) en invierno en Europa

septentrional (Alcamo *et al.*, 2007; véase el mapa 7.5). Todo ello se traduce en un probable beneficio neto para Europa septentrional y en pérdidas netas para Europa meridional.

Los costes económicos netos reales son más difíciles de calcular debido a las interacciones existentes entre las fuentes de energía, la tecnología, las tendencias socioeconómicas y los escenarios de mitigación en el futuro.

Figura 7.7 Días-grado de calefacción en Europa 1980-2005

Fuentes: Eurostat (http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_SDDS/EN/nrg_esdgr_sm1.htm) y CCI (JRC IPSC/Agrifsh Unit/MARS-STAT Action).

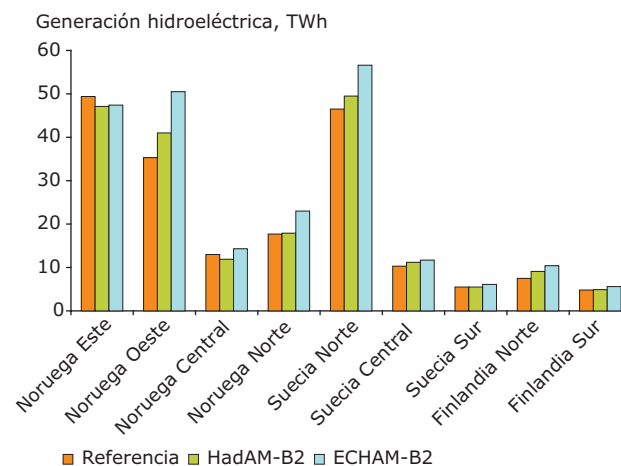
La demanda de calefacción en el invierno se cubre fundamentalmente con el uso de combustibles fósiles y la de refrigeración en verano mediante electricidad, pudiendo surgir problemas adicionales relativos a los picos de demanda en Europa meridional en verano⁽²⁷⁾. La adaptación desempeña una función importante en este sentido, sobre todo a través de alternativas al aire acondicionado mecánico, por ejemplo, mediante ventilación pasiva, diseño de edificios y planificación. En este contexto es importante tener en cuenta las sinergias existentes entre la mitigación y la adaptación. Por último, también podría aflorar la problemática de un incremento del suministro de agua para usos energéticos (bombeo, desalinización, reciclaje, riego, trasvases de agua). De nuevo, es probable que esta situación se agrave en Europa meridional, donde se prevé una reducción de los niveles de precipitación global. Existe además la posibilidad de que se produzcan fenómenos meteorológicos extremos (por ejemplo, tormentas) que aumenten el riesgo de averías en las infraestructuras energéticas.

Energía hidroeléctrica y agua de refrigeración para las centrales térmicas

La producción de electricidad depende enormemente del agua, tanto para la refrigeración en las centrales térmicas como para la energía hidroeléctrica⁽²⁸⁾. En algunas zonas, el aumento de la escorrentía fluvial

podría resultar beneficioso para la energía hidroeléctrica, mientras que este potencial se verá reducido en otras zonas (para obtener información más detallada, véase la sección 5.5). La generación de energía eléctrica en las centrales térmicas (sobre todo las de carbón y las nucleares) depende a menudo de grandes volúmenes de agua para la refrigeración. Durante las olas de calor y los períodos de sequía, el uso del agua de refrigeración podría estar restringido si se rebasan los valores límite de temperatura, lo que podría obligar a los operadores de la central a reducir la capacidad o incluso a un cierre temporal, con consecuencias potencialmente graves.

Desde la década de los setenta ha disminuido la producción energética anual de algunas centrales hidroeléctricas existentes, concretamente en Portugal, España y otros países de Europa meridional (UCTE, 1999). Se ha atribuido el fenómeno a los cambios producidos en los caudales medios, pero todavía no se sabe si esto se debe a fluctuaciones temporales o si se trata ya de las consecuencias de unas condiciones de clima cambiante a largo plazo (Lehner *et al.*, 2001). La seguridad de las presas y de los embalses puede verse afectada si varían las condiciones climáticas y aumenta la frecuencia de los caudales extremos. No obstante, resulta muy complicado evaluar los cambios producidos en la

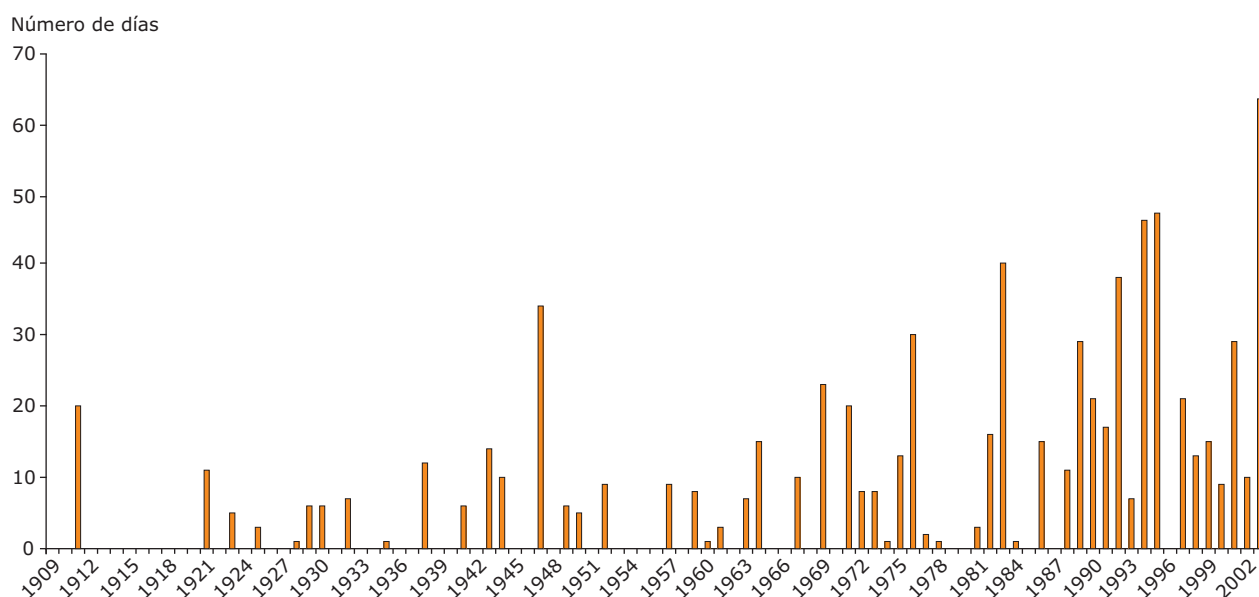
Figura 7.8 Cambios previstos en la producción de energía hidroeléctrica en Escandinavia

Nota: Período de referencia 1961–1990, proyecciones para 2071–2100 para dos modelos (HadAM y ECHAM) y para el escenario B2 del IE-EE del IPCC.

Fuente: Mo *et al.*, 2006.

⁽²⁷⁾ Aunque el balance energético global podría no variar tanto en Europa como consecuencia del cambio climático, podrían producirse, no obstante, efectos económicos importantes. La calefacción invernal se obtiene mediante combustibles (carbón, petróleo, gas) que se pueden almacenar. La refrigeración estival se obtiene por medio de la electricidad y ésta no se puede almacenar fácilmente. Un aumento de los picos de demanda de electricidad en verano, asociado a la refrigeración y a las olas de calor de Europa meridional, podría aumentar el valor máximo de capacidad necesaria en las centrales, por lo que cabría esperar un aumento de los costes marginales.

⁽²⁸⁾ En 2005, la energía hidroeléctrica constituyó un 9,25% del consumo de electricidad de la UE27 (balances energéticos de Eurostat). El porcentaje de energía hidroeléctrica con respecto a la producción de electricidad suele ser elevado en los países septentrionales y en los países alpinos. En 2001 la UE convino en que en 2010 el 21% de la cantidad total de electricidad consumida en la UE deberá proceder de fuentes de energía renovables (UE, 2006). En 2005, el porcentaje de fuentes de energía renovables con respecto al consumo eléctrico bruto fue del 14%, del cual la energía hidroeléctrica constituía un 66% (balances energéticos de Eurostat).

Figura 7.9 Número de días en los que la temperatura del agua superó los 23°C en el río Rin (Lobith, Países Bajos) durante 1909–2003

Fuente: Bresser *et al.*, 2006.

seguridad de los embalses (Veijalainen y Vehviläinen 2006; Andréasson *et al.*, 2006).

El estudio EuroWasser (Lehner *et al.* 2001, 2005) muestra un marcado gradiente norte-sur. Aunque existen grandes diferencias locales entre los resultados obtenidos con los dos modelos utilizados (ECHAM4 y HadCM3), especialmente en los Alpes y en una parte de la región mediterránea, ambos muestran aumentos en la producción de energía hidroeléctrica de hasta el 25% o más en Europa septentrional y reducciones de hasta el 25% o más en las zonas meridionales para 2070.

El estudio sobre el clima y la energía en la región nórdica (que abarca Escandinavia, Islandia y los estados bálticos; Bergström *et al.*, 2007) también prevé aumentos en la producción de energía hidroeléctrica en Escandinavia debidos, más concretamente, al uso de modelos de circulación regional para la extrapolación. En términos generales, el aumento es mayor en las regiones de la

costa occidental. La figura 7.8 muestra la producción de energía hidroeléctrica por regiones para el período de referencia 1961–1990 y las proyecciones para el período 2070–2100 según dos modelos.

Se espera que el descenso de la precipitación tenga un impacto perjudicial sobre el sector de producción eléctrica que utiliza agua de río con fines de refrigeración. Cuando se rebasa el nivel de la temperatura del agua⁽²⁹⁾ o cuando los niveles mínimos de los ríos caen por debajo de determinados umbrales (véase la figura 7.9) es necesario cerrar las centrales eléctricas. La producción de electricidad ya se ha reducido considerablemente en varias zonas de Europa en veranos muy cálidos como por ejemplo los de 2003, 2005 y 2006 (BMU, 2007; Lehner *et al.*, 2005). Es muy probable que las compañías eléctricas tengan mayores problemas con los sistemas de agua de refrigeración a causa del aumento de la temperatura y de situaciones más frecuentes de bajo caudal.

(29) La descarga del agua de refrigeración no debe tener una temperatura superior a 30°C; el límite crítico para la toma de agua de refrigeración son 23°C.

7.9 Turismo y ocio

Mensajes clave

- Los cambios producidos en el clima están empezando a incidir sobre el atractivo de muchos de los grandes complejos del Mediterráneo, aunque afectan favorablemente otras regiones.
- Las proyecciones de futuro del cambio climático sugieren que la idoneidad del Mediterráneo para el turismo se va a reducir durante los meses estivales, aunque se incrementará en otras estaciones (primavera y otoño). Esto puede provocar cambios en los grandes flujos del turismo dentro de la UE, los cuales serán muy importantes en regiones donde el turismo constituya un sector económico predominante, aunque las respuestas de adaptación tales como la diversificación económica serán críticas para limitar las pérdidas económicas. El sector turístico se enfrentará por tanto a importantes costes de adaptación.
- Las medidas de adaptación estarán regidas por el cambio climático y por factores socioeconómicos y será necesario evaluar su sostenibilidad (por ejemplo, los impactos ambientales asociados). Habría que evitar una mala adaptación y las medidas de adaptación también tendrán que ser formuladas de forma coordinada con las acciones de mitigación.

Como se muestra en el proyecto PESETA, que estudió los efectos del cambio climático sobre el turismo europeo, el turismo de masas está estrechamente vinculado al clima, tanto en lo referente al punto de origen de los turistas como a su destino. En la actualidad, la dirección predominante de los flujos turísticos estivales es de norte a sur, hacia las zonas costeras. Sin embargo, el turismo de mar y de montaña son los segmentos más vulnerables al cambio climático y la región mediterránea es el destino vacacional más popular en todo el mundo: atrae a unos 120 millones de visitantes procedentes de Europa septentrional cada año, el flujo internacional de turistas más importante del planeta, y su gasto supera los 100.000 millones de euros. Por lo que a los atractivos turísticos se refiere, en Europa existen grandes diferencias dentro del continente y entre las distintas estaciones. Durante los meses estivales principales, el Mediterráneo presenta un clima «casi ideal» para el turismo, con un índice de confort turístico (ICT) muy elevado⁽³⁰⁾. Esto constituye un factor de impulso como destino de vacaciones en la actualidad, además de los factores culturales, sociales, paisajísticos y de otra índole.

Se espera que el sector turístico europeo siga creciendo gracias al aumento de los ingresos y del tiempo libre. Sin embargo, es previsible que el aumento de la temperatura incida en las preferencias en cuanto a los destinos estivales (y de otras estaciones) en Europa, siendo la estacionalidad una cuestión clave para el turismo. El efecto del cambio climático también podría conferir un mayor atractivo a las actividades al aire libre en Europa septentrional, mientras que las temperaturas estivales y las olas de calor del Mediterráneo, potencialmente agravadas por los problemas en el abastecimiento de agua debidos a la coincidencia de los picos máximos de demanda con

los mínimos de disponibilidad de recursos, podrían provocar una redistribución o un cambio estacional en el turismo que desplazaría el pico estival actual.

Los resultados de los modelos del cambio climático muestran un posible desplazamiento del turismo hacia el norte durante el siglo XXI y un creciente carácter bimodal de la distribución estacional del turismo en el Mediterráneo (es decir, a ambos lados de un descenso considerable en verano). Al mismo tiempo, Europa septentrional muestra cada vez más atractivos para el turismo. Los mapas del proyecto PESETA indican cambios significativos potenciales de la idoneidad del clima para el turismo, desplazándose la franja de condiciones estivales excelentes del Mediterráneo hacia el norte de Europa. Es previsible que la pérdida de atractivo de los actuales destinos estivales se vea compensada, al menos en parte, por mejores oportunidades para el turismo en Europa septentrional. En las estaciones de transición (primavera y otoño, no representadas), las proyecciones de los valores del ICT aumentan generalmente en toda Europa y en especial en los países del sur del Mediterráneo, lo cual podría compensar algunas pérdidas estivales.

Estas evaluaciones reflejan la idoneidad teórica (modelizada) del turismo en el futuro. Las proyecciones de los cambios que es previsible se produzcan en los desplazamientos turísticos y sus implicaciones económicas son mucho más difíciles de evaluar. La evaluación dependerá en gran parte de la flexibilidad de los turistas y de instituciones tales como los colegios (vacaciones). Si el verano sigue siendo la estación predominante para el turismo en Europa es posible que, con el tiempo, se produzcan grandes cambios en los flujos de turistas. Los cambios en la estación vacacional podrían ser, no obstante, la forma de adaptación

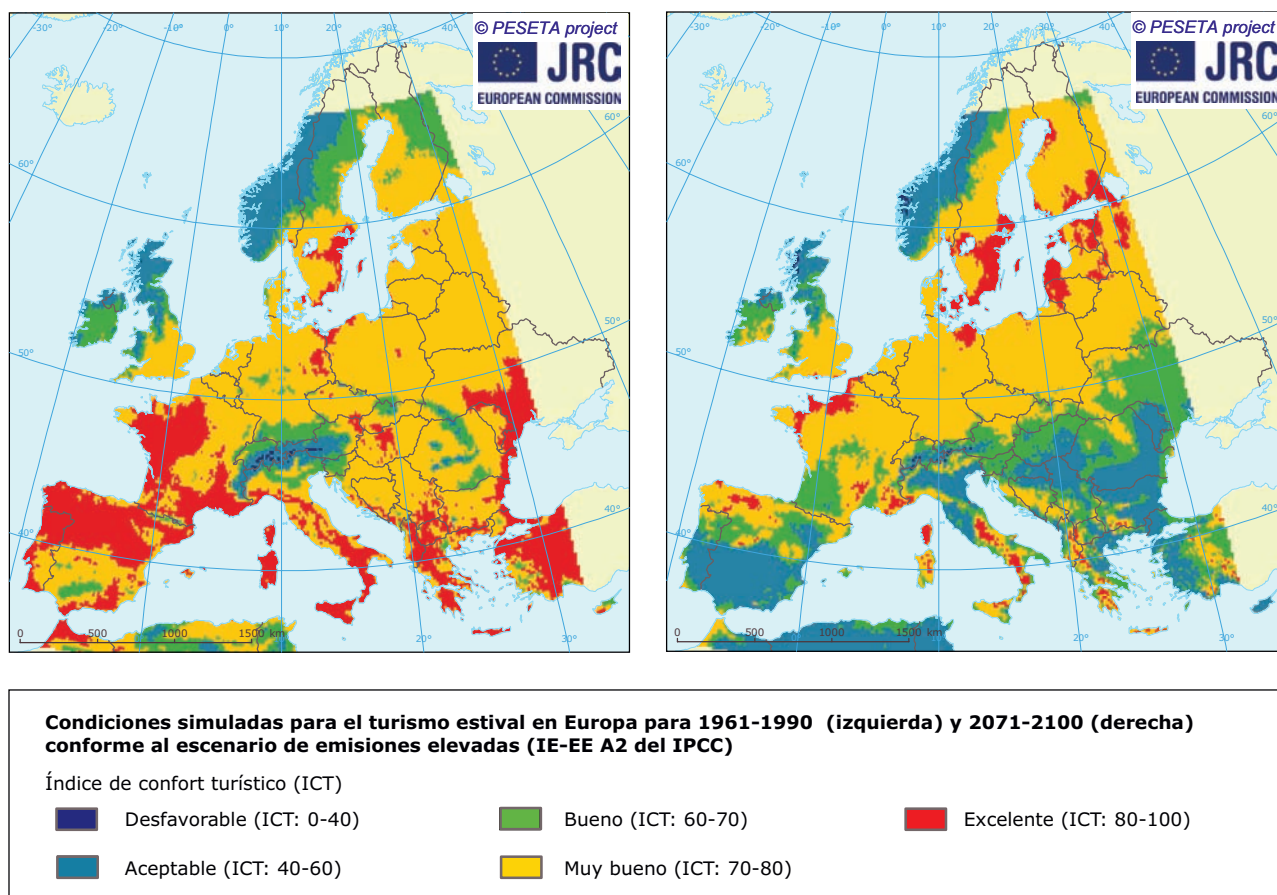
⁽³⁰⁾ El índice de confort turístico se basa en una serie de variables climáticas que reflejan la idoneidad de las regiones en relación con el confort bioclimático individual.

dominante. Si dichos cambios, así como otros cambios sociales (por ejemplo, el envejecimiento de la población) favorecen la flexibilidad del calendario vacacional entre una gran parte de la población, se compensarían algunos de estos efectos. El cambio climático podría incluso llegar a ser beneficioso para el sector turístico mediterráneo si equilibra la demanda, reduciendo el pico estival, al tiempo que aumenta la ocupación en las estaciones de transición. Si no se producen estos ajustes, el sector turístico mediterráneo figurará entre los grandes perdedores. Algunos estudios han investigado los efectos económicos potenciales del cambio climático sobre el turismo y muestran un aumento de la entrada de turistas debido al crecimiento demográfico y económico en el resto del mundo; también indican que la influencia del cambio climático podría provocar un cambio en el ritmo de crecimiento relativo de las regiones septentrionales de Europa frente a las mediterráneas. El estudio muestra asimismo un cambio potencial hacia un aumento del turismo nacional en regiones cada vez más atractivas (por ejemplo, en el Reino Unido).

Europa también posee un importante turismo enfocado a los deportes invernales y, de hecho, el esquí en los Alpes europeos y en los Pirineos atrae a millones de turistas cada año. Este sector contribuye decisivamente a la economía (OCDE, 2007), pues genera casi 50.000 millones de euros de facturación anual. Los estudios realizados prevén reducciones generalizadas en la cubierta nivosa durante el siglo XXI (IPCC, 2007b) que afectarán al sector de los deportes de invierno en Europa y a su viabilidad financiera. Abegg *et al.* (2007) indican que está previsto que el número de zonas de esquí fiables desde el punto de vista de la presencia de nieve de Austria, Francia, Alemania, Italia y Suiza descendan de casi 600 a 500 si las temperaturas aumentan 1,2°C, a 400 si aumentan 2°C, y a 200 si aumentan más de 4°C.

Existen ya algunas respuestas (por ejemplo, la fabricación de nieve artificial) que se han ido incrementando durante los últimos años. En Francia, por ejemplo, se invirtieron casi 500 millones de euros

Mapa 7.6 Condiciones modelizadas para el turismo estival en Europa para 1961–1990 y 2071–2100



Fuente: Proyecto PESETA del CCI (<http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Tourism.html>).

en instalaciones de fabricación de nieve artificial entre 1990 y 2004, mientras que en Austria se invirtieron aproximadamente 800 millones entre 1995 y 2003. La introducción de estas máquinas también se debe a otros factores socioeconómicos (aumento de la fiabilidad de las estaciones para aumentar los ingresos y ampliación de sus zonas de esquí más allá de los límites naturales originales). Estas medidas tienen sus límites y es previsible que su coste aumente de forma no lineal a medida que se incremente la temperatura.

Las opciones de adaptación también conllevan problemas ambientales y de sostenibilidad (por ejemplo, el consumo de agua de las máquinas de nieve

afecta negativamente a los recursos hídricos actuales, lo que podría verse agravado en el futuro, o el consumo energético y las correspondientes emisiones de gases de efecto invernadero) que tendrán que ser evaluadas. También es necesario formular criterios para definir claramente y prevenir las medidas de adaptación inadecuadas. Por último, las medidas de adaptación tendrán que formularse de forma coordinada con las acciones de mitigación. Existen medidas sostenibles de adaptación, entre ellas, la diversificación económica dentro del sector turístico o fuera del mismo, por ejemplo, de los deportes invernales a otras actividades de ocio o estacionales.

7.10 Salud

Mensajes clave

- El cambio climático afecta a los seres humanos a través de su exposición directa o indirecta al mismo. Estos cambios acarrearán consecuencias económicas. No existen muchos estudios que midan los costes directos, como por ejemplo los tratamientos, la hospitalización, el tiempo de trabajo perdido y los costes médicos adicionales.
- La adaptación en el área de la salud implica una revisión y un refuerzo de una serie de medidas, políticas y estrategias existentes. Los niveles de riesgo actuales ya han provocado la introducción de nuevas medidas. Mientras el aumento del calentamiento de la tierra sea moderado, es previsible que muchos de los efectos previstos sobre la salud puedan ser controlados por medio del refuerzo de las intervenciones consolidadas en materia de salud pública. No obstante, será necesario ampliar la evaluación de la rentabilidad de estas acciones a la luz de un clima cambiante.
- Las acciones, políticas y medidas existentes podrían resultar insuficientes si aumenta el nivel de riesgo o se produce un incremento en la frecuencia y la intensidad de los fenómenos, o si se aceleran los cambios climáticos –lo que acarreará unos considerables costes económicos.

A escala mundial, los estudios se han centrado fundamentalmente en los costes (y los beneficios) de los impactos del cambio climático sobre el bienestar, a los que agregaron los costes de los «daños» del cambio climático (Tol, 2002a, 2002b) o bien han estimado los costes y los beneficios de las medidas dirigidas a la reducción del cambio climático (Cline, 2004). Estos estudios presentan algunas carencias, a saber: (a) se analizan un número limitado de problemas de salud, fundamentalmente el calor y la malaria; (b) los economistas suelen asignar un valor inferior a la vida en los países de ingresos más bajos. Los estudios sobre los costes directos son muy limitados, por ejemplo, sobre el absentismo laboral, el ingreso hospitalario, los costes de los tratamientos o la productividad laboral.

En cuanto a Europa, el proyecto PESETA estimó que los efectos económicos del cambio climático en Europa podrían ser significativos, con unos costes potencialmente elevados (millardos de euros al año) derivados de la mortalidad estival para el período 2080-2090, aunque dichos costes se verían compensados, en gran medida, por los beneficios económicos derivados de la reducción de la mortalidad invernal. Confalonieri *et al.* (2007) convienen en que las proyecciones sobre las muertes relacionadas con el frío y el potencial de descenso de las cifras correspondientes a estas muertes debido a inviernos más cálidos, pueden llegar a sobreestimarse a menos que se tomen en consideración los efectos de la mejora de la vivienda, de la vacuna contra la gripe y de la época de la gripe (Armstrong *et al.*, 2004). Alberini y Chiabai (2005) calcularon que en la ciudad de Roma se podrían ahorrar 286 millones de euros tan sólo en 2020 si se tomaran ahora medidas tempranas para prevenir las enfermedades.

El cambio climático también plantea la cuestión de la seguridad alimentaria. El proyecto PESETA⁽³¹⁾ estimó un aumento de 20.000 casos al año para 2030 y entre 25 y 40.000 casos adicionales para 2080, con un coste de varios millardos de euros al año en términos de gastos médicos, tiempo de trabajo perdido, gastos para evitar el dolor y el sufrimiento y un pequeño número de casos de intoxicación alimentaria con desenlace fatal, aunque se ha concluido que la adaptación representa un instrumento de bajo coste para su reducción.

Se prevé que las inundaciones costeras constituyan una amenaza para 1,6 millones de personas más al año en la UE (AEMA, 2007a).



Fotografía:

© Waldemar Jarosinski

⁽³¹⁾ En PESETA sólo se han abordado los efectos sobre la mortalidad relacionados con la temperatura media y no se han analizado las olas de calor. Para obtener más información, véase <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Humanhealth.html>.

Los efectos directos para la salud son provocados por las aguas de inundación e incluyen ahogamientos, ataques al corazón y lesiones. Los efectos indirectos para la salud son el resultado de los daños en las infraestructuras e incluyen enfermedades infecciosas, enfermedades transmitidas por roedores, intoxicaciones y trastornos por estrés postraumático (insomnio, problemas de concentración y alteraciones psicosociales). El estudio PESETA estimó que las inundaciones costeras, si no media adaptación, podrían provocar unos costes económicos de entre 800 y 1.400 millones de euros para 2080 (escenarios de emisiones B2 y A2).

El cambio climático en Europa plantea varias cuestiones nuevas relacionadas con la salud que no se han cuantificado ni valorado todavía. Un clima más cálido puede tener consecuencias importantes para la calidad del aire en Europa (por la formación de ozono). La estacionalidad de los trastornos alérgicos podría cambiar y repercutir en los costes directos en relación

con los medicamentos dispensados sin receta para la rinitis alérgica, y en mayores costes económicos para las personas.

Están empezando a aparecer datos sobre los costes de la adaptación, como por ejemplo los relacionados con la vigilancia y el control de los brotes, y es más que probable que las estrategias de adaptación que puedan ejecutar los sectores sanitarios (proyecto cCASHh) se basen en enfoques de salud pública consolidados, aunque es necesario realizar un trabajo adicional para evaluar plenamente los costes. La mayor parte de las medidas de adaptación parecen tener un bajo coste (por ejemplo la dotación de información), pero la vacunación a gran escala u otros programas de prevención contra enfermedades transmitidas por vectores tienen un coste potencialmente muy elevado. Además se destaca que probablemente habrá consecuencias distributivas importantes en relación con el cambio climático y la salud, de modo que los países pobres estarán más expuestos o serán más vulnerables.

7.11 Los costes del cambio climático para la sociedad

Mensajes clave

- No es fácil evaluar el total de las pérdidas económicas previstas a causa de los efectos del cambio climático, y la bibliografía muestra un espectro de resultados muy amplio. A causa de las muchas incertidumbres en torno a este tema, no existe ningún coste único «real» sino más bien un espectro relevante de costes.
- Las estimaciones macroeconómicas y microeconómicas/sectoriales se basan en distintas metodologías para los distintos niveles de análisis y objetivos. Proporcionan estimaciones complementarias para ayudar a los responsables políticos a ampliar sus conocimientos.

Los costes del cambio climático se concentrarán sobre personas diferentes, en sectores diferentes, en lugares diferentes y en momentos diferentes. A causa de esta complejidad no es posible evaluar fácilmente el total de las consecuencias económicas previstas de los impactos del cambio climático (a escala mundial o sólo en Europa) y la bibliografía muestra un amplio espectro de resultados. La transposición de los impactos físicos en términos monetarios es una tarea difícil y, en ocasiones, polémica, pues los impactos del cambio climático afectan a bienes y servicios destinados o no a un fin comercial que abarcan efectos sociales, ambientales y sanitarios, e implican fenómenos climáticos que pueden producirse a gran escala y tener un carácter potencialmente irreversible. Las fórmulas más habituales de definición de los costes de inacción ante el cambio climático utilizan «costes totales» o «costes marginales».

Los costes totales se miden a menudo en forma del valor agregado descontado de todos los cambios futuros en la calidad de vida durante un horizonte de planificación determinado. A escala mundial empieza a aparecer bibliografía y algunos estudios realizados han presentado los costes totales de los impactos del cambio climático para la economía mundial en forma de cambio porcentual. En algunas regiones, el cambio climático podría reportar beneficios económicos para algunos de los sectores de corto a medio plazo. Sin embargo, las evidencias expuestas en el Cuarto Informe de evaluación del IPCC muestran que los impactos mundiales agregados del cambio climático redundarán en costes netos en el futuro y que estos costes aumentarán con el paso del tiempo (IPCC, 2007b). A escala mundial, las estimaciones económicas previas de los costes de los impactos del cambio climático — por ejemplo, como resultado de la elevación del nivel del mar, descensos de la productividad agrícola y cambios en la demanda energética — ascienden hasta aproximadamente el 2% del PIB mundial al año, (AEMA, 2007b). Pero otros estudios y revisiones han señalado que los costes podrían ser más significativos (Ackerman y Stanton, 2006). Más concretamente, el Informe Stern (es decir, el informe más destacado elaborado por el gobierno británico sobre la economía del cambio climático, 2006) adopta una perspectiva mundial y calcula que si no se reducen las emisiones

de gases de efecto invernadero, el coste total en un escenario continuista reducirá el nivel de bienestar en una cantidad equivalente a una reducción del consumo *per cápita* entre el 5 y el 20%.

Los costes marginales del cambio climático son los costes de los daños adicionales del cambio climático derivados de la emisión a la atmósfera de una unidad de gases de efecto invernadero. El IPCC (2007b) recopiló los costes marginales estimados en varios de los estudios más relevantes existentes en la bibliografía, gracias a lo cual es posible observar la gran dispersión de los resultados. Las estimaciones oscilan entre – 10 y + 350 dólares por tonelada de carbono. Las estimaciones revisadas por otros expertos presentan un valor medio de 43 dólares por tonelada de carbono con una desviación estándar de 83 dólares por tonelada (IPCC, 2007b). También es importante señalar que es previsible que el coste marginal del cambio climático aumente con el tiempo, en consonancia con el aumento esperado de los costes de los daños (Watkiss, 2006).

Si bien esta información es muy valiosa para establecer la política del cambio climático, es evidente que la estimación del coste de la inacción plantea numerosas cuestiones metodológicas. El cambio climático depende de muchos tipos de parámetros climáticos que, a su vez, influyen de diferentes modos en muchos sectores (sujetos y no sujetos a las leyes de mercado). Está claro que las distintas estimaciones de los costes del cambio climático se basan en distintos tipos de efectos climáticos e incluyen diferentes impactos en diferentes sectores. Las revisiones bibliográficas realizadas (Watkiss, 2006; AEMA, 2007b) indican que la mayor parte de los estudios se centran en los daños de mercado producidos por fenómenos predecibles y dejan de lado los efectos socialmente contingentes y no sujetos a las leyes de mercado. Todas las estimaciones actuales de los costes de la inacción son por tanto incompletas, aunque no sabemos hasta qué punto. Por ello, es preciso reconocer el amplio espectro que presentan los costes y que sería necesario diseñar unas políticas que tengan en cuenta esta incertidumbre. Asimismo, se debería comunicar con claridad que no existe un único valor del coste «real» que pueda ser proporcionado por los científicos a los responsables políticos

8 Lagunas de información, incertidumbres y necesidades futuras

El presente capítulo aborda las incertidumbres que rodean al cambio climático y presenta una síntesis, tanto de aquellas entendidas en un sentido general, como de las que guardan relación con los indicadores del cambio climático contemplados en este informe en particular. El propósito fundamental es mostrar las carencias percibidas en relación con las tendencias y proyecciones observadas y la necesidad de perfeccionar los métodos de seguimiento (in situ y por satélite) y modelización del cambio climático en el futuro.

8.1 Introducción

Necesidad de abordar la incertidumbre

El ritmo del cambio climático, sus impactos y la disponibilidad y eficacia de medidas orientadas a la mitigación y a la adaptación a los impactos que genera son factores que deben intervenir en la toma de decisiones. La adaptación a las circunstancias actuales y previstas del cambio climático pasa por poner en práctica una serie de actuaciones, independientemente de que ya se hayan implantado unas medidas de mitigación sustanciales. Ignorar la incertidumbre incrementa el riesgo de no actuar debidamente contra el desafío que suponen el cambio climático y sus impactos sobre el medio ambiente, la economía y el bienestar humano. A nivel decisorio es necesario además tener en cuenta el principio de precaución, conforme al cual carecer de una certeza científica absoluta no debe servir de excusa para demorar la adopción de medidas cuando subyace el riesgo de daños graves o irreversibles para la salud pública o el medio ambiente. Tampoco deben ignorarse las «medidas que no entrañen remordimiento» ni despreciarse las «situaciones beneficiosas para todos». En el sector del transporte, por ejemplo, las medidas enfocadas a una mayor eficacia del consumo energético contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y repercuten beneficiosamente sobre la salud y la economía. Otros ejemplos son los múltiples beneficios que reporta la protección de los humedales a la biodiversidad y defensa contra las inundaciones, la introducción de bosques mixtos que potencian la biodiversidad e incrementar la resistencia de los bosques frente a las condiciones ambientales variables, así como la eco-urbanización enfocada a mejorar las condiciones climáticas locales y la salud humana.

Principales tipos de incertidumbre

Cabe definir tres tipos básicos de incertidumbre.

1. El conocimiento incompleto

El desconocimiento de los procesos físicos, químicos y biológicos y la atribución del cambio climático

a factores antropogénicos y naturales es fuente de incertidumbre, como lo es también la atribución de los impactos a fuerzas motrices climáticas o no climáticas. Aún podrían existir procesos desconocidos en los sistemas terrestres. Sin embargo, los procesos físicos atmosféricos y su interacción con la superficie terrestre y marina se conocen razonablemente bien, como demuestra el hecho de que los modelos climáticos permitan reproducir con razonable exactitud el clima pasado y el actual. No obstante, subsisten las incertidumbres en relación con nuestros conocimientos del sistema climático, bien descritas por el IPCC en su informe (IPCC, 2007); entre ellas, cabe mencionar los impactos de la nubosidad sobre el balance energético de la atmósfera, con la consiguiente incertidumbre en relación con la sensibilidad climática, una variable esencial para la modelización del cambio climático.

Otra incertidumbre ligada a los procesos empleados para el análisis del impacto climático es la relacionada con la «doble atribución»: la atribución del cambio climático a actividades antropogénicas y la atribución de los cambios observados en el medio ambiente a los impactos del cambio climático. La primera se estudia indirectamente mediante la ejecución de modelos con y sin presión antropogénica y mediante la comparación de los resultados con las observaciones. La segunda ocurre especialmente en sistemas intensivamente explotados o afectados por las actividades humanas. En general, en este tipo de atribución se analiza la coherencia de los cambios observados en los indicadores con el cambio climático observado, teniendo en cuenta el grado de comprensión respecto a la dependencia climática del indicador, por ejemplo, si se ha obtenido a partir de experimentos controlados o a partir de análisis con modelos. El aumento del rendimiento de las cosechas, por ejemplo, puede deberse a una combinación del aumento de las temperaturas, fertilización por CO₂, desarrollo de nuevas variedades de cultivos y/o mejoras en la gestión. Las respuestas de sistemas con un alto grado de complejidad, como es el caso de los sistemas biológicos, sociales o económicos, son muy difíciles de evaluar. Los impactos climáticos pueden verse o bien incrementados por otros factores no climáticos o bien compensados por la adaptación del sistema, o bien compensados internamente hasta que se rebasa un nivel crítico de resiliencia.

Los análisis de sensibilidad efectuados con modelos informatizados pueden facilitar una mejor comprensión de estos sistemas mediante el análisis de las diferentes combinaciones de fuerzas motrices.

2. Tendencias observadas insuficientes

La comprensión de determinados procesos del cambio climático y sus impactos puede merecer

un alto grado de confianza, pero si los datos y evoluciones observadas son insuficientes, en la mayor parte de los casos las evaluaciones sólo pueden ofrecer una información cualitativa de valor muy limitado para las estrategias de mitigación y adaptación. En los últimos años, la observación nos ha deparado muchos más datos que demuestran fehacientemente que el sistema climático reacciona con extremada sensibilidad a las variaciones en la presión y los pequeños cambios ya están provocando impactos significativos en la naturaleza y en el bienestar humano (véase el capítulo 2).

No obstante, cuando los datos son excesivamente limitados para una modelización y una evaluación adecuadas, la confianza en los resultados suele ser por lo general baja. Podría darse el caso de carecer por completo de datos o de que su resolución o cobertura espacial o temporal fuera insuficiente. Las series cronológicas pueden resultar excesivamente cortas como para detectar tendencias y comprender los nexos causales con el cambio climático antropogénico o con la variabilidad natural. Por ejemplo, no se ha dirimido aún si los cambios de intensidad y de frecuencia de los huracanes y las inundaciones se deben al cambio climático antropogénico o responden a la variabilidad natural. Ello se debe, en parte, a que las series cronológicas de las tendencias observadas siguen siendo demasiado cortas y, en parte, a que estos fenómenos presentan una variabilidad muy superior a la del cambio climático. La escasez en términos de cobertura temporal y espacial de los datos que describen las denominadas condiciones límite inferiores del sistema climático, como la temperatura de la superficie del mar, la cubierta de hielo y de nieve y el permafrost, siguen limitando la fiabilidad de la modelización climática (SMOC, 2003). Las tendencias y los datos observados en varios de los indicadores de impacto presentados en este informe carecen a menudo de una escala temporal y espacial adecuada.

3. Incertidumbre sobre los futuros desarrollos socioeconómicos

Las fuentes principales de incertidumbre son la conducta humana, la evolución de los sistemas políticos y las evoluciones demográficas, tecnológicas y socioeconómicas. Las políticas orientadas al control de las emisiones de gases de efecto invernadero repercuten sobre el ritmo e intensidad del futuro calentamiento climático. Para las proyecciones del cambio climático y sus impactos, el componente impredecible de la presión antropogénica se aborda mediante la utilización de conjuntos de futuros hipotéticos basados en diferentes líneas de desarrollo socioeconómico que dan lugar a un conjunto de escenarios de emisiones como los presentados en los últimos informes del IPCC (IPCC, 2001; 2007). Estos escenarios se utilizan para analizar la influencia de las actividades humanas sobre el sistema climático partiendo de la premisa: “si

esto es así, entonces...”: si las emisiones aumentan o disminuyen hasta un grado determinado, los impactos antropogénicos sobre el sistema climático cambiarán de un modo determinado. Los escenarios del IPCC describen una serie de posibles futuros de esta naturaleza (Nakićenović *et al.*, 2000) (véase también el capítulo 4).

Varias décadas de investigación climática y las series de informes elaborados por el IPCC han posibilitado una primera comparación entre las proyecciones iniciales y las observaciones efectuadas durante los últimos 20 años. De acuerdo con los resultados de dichas investigaciones, cada vez más indicios vienen a confirmar que las proyecciones tienden a subestimar las emisiones de gases de efecto invernadero y los aumentos de temperatura. Hasta los escenarios «continuistas» o «más desfavorables» preveían unas emisiones y unos aumentos de las temperaturas en los últimos 20 años inferiores a los resultados arrojados por las mediciones reales durante el mismo período (IPCC, 2007). Esto podría ser fruto, entre otras cosas, de una subestimación del crecimiento económico, de la demanda energética y de la intensidad de carbono del suministro energético.

El intervalo previsto de incremento de la temperatura hasta finales del siglo XXI sólo ha variado ligeramente, desde los 1,4 a 5,8°C del tercer informe de evaluación del IPCC (IPCC, 2001) hasta los 1,1 a 6,4°C con una estimación óptima de entre 1,8 y 4,0°C del cuarto informe de evaluación (IPCC, 2007). Se trata del mejor marco disponible en la actualidad a nivel decisorio para evaluar opciones en materia de política climática.

Los escenarios para indicadores de los impactos del cambio climático y de vulnerabilidad presentados en este informe se basan principalmente en los escenarios mundiales del IPCC y tan sólo contienen información espacialmente detallada a escala europea para algunos indicadores. Estos escenarios también son incompletos y varían en función de los indicadores. Es necesaria una interacción periódica entre los responsables de la modelización climática y los usuarios encargados de analizar los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación a fin de elaborar unos escenarios de cambio climático altamente contrastados y adaptados a escala regional y local. Convendría que los proyectos de investigación europeos adoptasen el mismo conjunto restringido de escenarios climáticos utilizados para el desarrollo mundial, como por ejemplo los que utiliza el IPCC, y que utilizasen las proyecciones climáticas regionales tan pronto como resulten accesibles.

Requisitos en materia de datos y escenarios para la planificación de la adaptación

La necesidad de evaluaciones regionales para una mejor comprensión del cambio climático y de sus impactos requiere un análisis con una mayor resolución espacial (por ejemplo, más detallados que la escala disponible actualmente de 50 x 50 km) incluidos los

cambios estacionales producidos durante el año (IPCC, 2007). Para que las decisiones relativas a las medidas de adaptación cuenten con el respaldo adecuado, es necesario disponer de información más precisa a escala regional y a escala local. Desafortunadamente, la incertidumbre respecto a las proyecciones climáticas futuras es mayor a escala local y regional que a escala mundial ya que en dichos ámbitos, a escalas más detalladas, son importantes otros factores como la topografía y otras condiciones ambientales. Para planificar el turismo invernal, por ejemplo, se necesita una información muy detallada sobre el clima local, sobre todo en lo que se refiere a los cambios de temperaturas y de nevadidad durante el invierno, a fin de analizar la posible rentabilidad que supondría construir estaciones de esquí y los impactos ambientales derivados de su funcionamiento. Para que los impactos del cambio climático se tengan en cuenta a la hora de adoptar medidas de protección contra inundaciones se necesita información muy detallada sobre las variaciones en la frecuencia y la intensidad de las precipitaciones a fin de planificar adecuadamente las presas y los diques.

No obstante, a falta de información definitiva, los interlocutores deben tomar decisiones sujetas a incertidumbre y a la información que posiblemente se incorpore a medida que pasa el tiempo, procurando optar en cualquier caso por medidas útiles. La preparación para el futuro no exige una predicción absolutamente exacta, sino una base de conocimientos sobre la que fundamentar la actuación, una capacidad de aprendizaje basada en la experiencia, especial atención a cuanto ocurre en el presente y unas instituciones sólidas y flexibles capaces de responder o de adaptarse eficaz y oportunamente a los cambios.

8.2 Lagunas en las observaciones e incertidumbres en las proyecciones

Tanto el número de indicadores utilizados para describir los impactos del cambio climático, como la calidad de la información subyacente en términos de cobertura paneuropea, han aumentado considerablemente desde la publicación del último informe sobre indicadores del cambio climático de la AEMA en 2004. Se han elaborado indicadores nuevos, sobre todo para sistemas tales como los ecosistemas, la biodiversidad, la silvicultura y la agricultura (tabla 8.1). Se han suprimido otros o se han incorporado a otros indicadores al no haberse considerado relevantes para la comunicación de los impactos del cambio climático (por ejemplo la concentración de gases de efecto invernadero), o bien porque han sido sustituidos por una visión más europea (por ejemplo, la distribución de las especies vegetales en las zonas de montaña).

La mayor parte de los indicadores se basan en estudios publicados en documentos revisados, es decir, que no ha sido posible crear un conjunto estándar de escenarios

de emisiones y ejecuciones de modelos climáticos para las evaluaciones de impacto. En la tabla 8.2 se ofrece una descripción de los escenarios de emisiones y de los modelos climáticos utilizados para los análisis de los impactos de cada indicador. En la mayoría de los casos se han utilizado los escenarios A1B, A2, B1 o B2 como insumos para los modelos climáticos (véase el recuadro 4.1 en el capítulo 4). Para los datos climáticos se han utilizado fundamentalmente versiones distintas del modelo del Hadley Centre (Had) o el modelo ECHAM del Instituto Max Planck de Meteorología (MPI-M). En algunos casos se han aplicado modelos meteorológicos y climáticos regionales (por ejemplo, REMO) tales como el modelo Hirham, para obtener una proyección regional más detallada del clima futuro. La utilización de varios escenarios de emisiones y modelos climáticos se traduce en la obtención de diferentes resultados respecto a futuros cambios de temperatura y precipitaciones. Estos cambios varían en función de las estaciones y de las regiones europeas.

Como en este informe se han presentado escenarios distintos, conviene saber cómo comparar dichos escenarios con los diferentes indicadores. Por ello, en la figura 8.1 se describen todos los modelos y escenarios utilizados en este informe.

En la figura 8.1 se muestran las incertidumbres de las proyecciones climáticas (valor medio del período 2071-2100) para el invierno (de diciembre a febrero) y el verano (de junio a agosto) para Europa septentrional y meridional. Los gráficos demuestran que existe una clara relación entre los aumentos de la temperatura y las precipitaciones invernales de Europa septentrional (figura 8.1a). Casi todos los modelos prevén un aumento de las temperaturas y un descenso de las precipitaciones veraniegas en Europa meridional (figura 8.1d). También se aprecian indicios claros de un incremento de las temperaturas en los veranos de Europa septentrional (figura 8.1b) y los inviernos de Europa meridional en todos los modelos (figura 8.1c) aunque éstos prevén cambios distintos en las precipitaciones (aumentos leves o descensos). Debido a la incertidumbre que subyace a las previsiones de precipitación en estos casos, las incertidumbres de los indicadores de impacto presentados en este informe relacionados con las precipitaciones y la demanda/abastecimiento de agua, como por ejemplo las inundaciones, las sequías, la demanda de riego y el crecimiento de los cultivos, son elevados.

A continuación se resume el estado actual con respecto a las incertidumbres y las necesidades de información en función de cada una de las categorías de indicadores presentadas en este informe.

La atmósfera y el clima

La medición diaria de las condiciones atmosféricas se inició hace muchas décadas. Disponemos por tanto de datos relativamente buenos, en términos generales, en comparación con otros indicadores, si bien también

Tabla 8.1 Grandes cambios en los indicadores, 2004–2008

Sector	Nuevo indicador en 2008	Indicador remplazado o eliminado del informe de 2004
Atmósfera y clima	Tormentas y marejadas ciclónicas en Europa Contaminación del aire por ozono	Concentraciones de gases de efecto invernadero
Criosfera	Capa de hielo de Groenlandia Permafrost de las montañas	
Calidad del agua, inundaciones de ríos y sequías	Inundaciones de ríos (nº de acontecimientos) Sequía de los caudales de los ríos	
Calidad de aguas continentales y biodiversidad	Temperatura del agua Cubierta de hielo de lagos y ríos Biodiversidad de aguas continentales y calidad del agua	
Ecosistemas terrestres y biodiversidad	Distribución de especies animales Fenología animal Relaciones especies-ecosistemas	Supervivencia de aves
Suelo	Carbón orgánico del suelo Erosión hídrica del suelo Retención de agua	Terrestrial carbon uptake *
Agricultura y silvicultura	Estación de crecimiento para cultivos agrícolas Cronometraje del ciclo de cultivos agrícolas (agrofenología) Variabilidad del rendimiento de cultivos Necesidad de agua Crecimiento de bosques Peligro de incendio forestal	Pérdidas del rendimiento de cultivos en 2003
Salud humana	Enfermedades transmitidas por agua y alimentos	
Sectores económicos	Pérdidas normalizadas debidas a desastres causados por inundaciones de ríos Áreas costeras Suministro de agua pública y gestión de agua potable Agricultura y silvicultura (rendimiento de cultivos) Bienes y servicios de biodiversidad y ecosistemas Energía Turismo y ocio Salud Costes del cambio climático para la sociedad	

Nota: *de la sección "Ecosistemas terrestres y biodiversidad"

varía en función de los indicadores climáticos y las regiones. A escala mundial, se han identificado grandes lagunas en lo que se refiere a la cobertura, principalmente para África, los océanos y las regiones polares (SMOC, 2003). Con respecto a Europa sigue existiendo una carencia de datos dotados la resolución espacial y la calidad adecuadas para las evaluaciones regionales y locales. Se necesita información más detallada, cuantitativa y adaptada, especialmente para las evaluaciones de impacto del clima regional y para la formulación de estrategias rentables de adaptación. El reanálisis climático a escala mundial y regional (véase el recuadro 5.2) constituye una herramienta útil para la creación de conjuntos de datos sobre la superficie terrestre y los océanos (desde la superficie hasta las capas superiores de la atmósfera) durante períodos de

hasta 50 años y puede por tanto contribuir a un mejor estudio del clima y la variabilidad climática.

En el caso concreto de la adaptación, la información sobre los fenómenos extremos adquiere mayor importancia, pero los cambios en las tormentas y en las marejadas relacionados con el cambio climático siguen sujetos a incertidumbre debido a la excesiva brevedad de las series cronológicas de los datos observados como para comprender las contribuciones de la variabilidad natural y la presión antropogénica. Todavía no se dispone de datos suficientes para mejorar los análisis de frecuencia e intensidad de otros fenómenos extremos, como las olas de calor y la pluviosidad intensa, en cuanto a zonas de Europa y en términos de duración de las series cronológicas observadas.

Tabla 8.2. Escenarios de emisiones y modelos climáticos utilizados para estudios sobre impactos

Indicador	Escenario IE-EE del IPCC	Modelo climático	Comentario
5.2 Atmósfera y clima			
5.2.2 Temperatura global y europea	A1B	*	21 modelos climáticos
5.2.3 Lluvia en Europa	A1B	*	21 modelos climáticos
5.2.4 Temperaturas extremas en Europa	A2	Hirham + HadCM3	
5.2.5 Lluvia extrema en Europa	A1B	Echam4	
5.2.6 Tormentas y marejadas ciclónicas	A2, B2	ECHAM4 + (HadCM3)	
5.2.7 Contaminación del aire por ozono	A2, B2	RegCM (Clima) + CHIMERE (calidad del aire)	Análisis del CCI
5.3 Criosfera			
5.3.2 Glaciares	B2	HadCM3 & Echam4	Alpes: estudio de sensibilidad
5.3.3 Cubierta nivosa	A1B, B1, A2	REMO, RCM-H-A2 (multimodelo)	
5.3.4 Capa de hielo de Groenlandia	---	---	
5.3.5 Hielo del mar Ártico	*	*	13 modelos IPCC AR4 sobre el clima
5.3.6 Permafrost de las montañas	A1B, A2, B1	REMO	
5.4 Biodiversidad marina y ecosistemas			
5.4.2 Elevación del nivel del mar			Diferentes escenarios y modelos
5.4.3 Temperatura de la superficie del mar	A1B		Diferentes modelos
5.4.4 Fenología marina	---	---	
5.4.5 Movimiento hacia el norte de especies marinas	---	---	
5.5 Cantidad de agua, inundaciones de ríos y sequías			
5.5.2 Caudal del río	A2	HIRHMAN + HadAM3H	Análisis del CCI
5.5.3 Inundaciones de ríos	A2	HIRHMAN + HadAM3H	Análisis del CCI
5.5.4 Sequía de los caudales de los ríos	A2	HIRHMAN + HadAM3H	Análisis del CCI
5.6 Calidad de agua dulce y biodiversidad			
5.6.2 Temperatura del agua	*	*	Diferentes escenarios y modelos, 50-70% de incremento de temperatura del aire
5.6.3 Cubierta de hielo de lagos y ríos	A2	RCM	Análisis del CCI
5.6.4 Biodiversidad de aguas continentales y calidad del agua	A2	---	
5.7 Ecosistemas terrestres y diversidad biológica			
5.7.2 Distribución de especies de plantas	A2	HadCM2	
5.7.3 Fenología de plantas	---	---	
5.7.4 Distribución de especies animales	A2	HadCM3	
5.7.5 Fenología animal	---	---	
5.7.6 Relación especies-ecosistema	A2	HadCM3	
5.8 Suelo			
5.8.2 Carbón orgánico del suelo	A2	HadCM2	Análisis del CCI
5.8.3 Erosión hídrica del suelo	---	---	
5.8.4 Retención de agua	A2	ECHAM5/T106L31	Análisis del CCI
5.9 Agricultura y silvicultura			
5.9.2 Estación de crecimiento para cultivos agrícolas	---	---	
5.9.3 Cronometraje del ciclo de cultivos agrícolas (agrofología)	---	---	
5.9.4 Variabilidad del rendimiento de cultivos	---	---	
5.9.5 Necesidad de agua			
5.9.6 Crecimiento de bosques	A1B	NCAR-CCM3	
5.9.7 Peligro de incendio forestal	A2	Hirham4 + DMI	
5.10 Salud humana			
5.10.2 Calor y salud	A2	Normalizado por°C	Proyecto PESETA del CCI
5.10.3 Enfermedades transmitidas por vectores	Varios	Normalizado por°C y precipitación (mm)	Conjunto de modelos del IPCC
5.10.4 Enfermedades transmitidas por agua y alimentos	Varios	Normalizado por°C	Conjunto de modelos del IPCC
7 Consecuencias económicas del cambio climático			
7.2 Pérdidas directas por desastres climatológicos	---	---	
7.3 Pérdidas normalizadas debidas a desastres causados por inundaciones de ríos	A2, B2	HadAM3H, HIRHAM	Proyecto de JRC PESETA
7.4 Áreas costeras	A2	ECHAM4	Proyecto PESETA del CCI

Tabla 8.2. Escenarios de emisiones y modelos climáticos utilizados para estudios sobre impactos (cont.)

Indicador	Escenario IE-EE del IPCC	Modelo climático	Comentario
7.5 Suministro de agua pública y gestión de agua potable	A2	ECHAM4, HadCM3	Modelo WaterGAP
7.6 Agricultura y silvicultura	A2	HadCM2/HIRHAM ECHAM4/RCA3	Proyecto PESETA del CCI
7.7 Bienes y servicios de biodiversidad y ecosistemas	---	---	
7.8 Energía	A1B, B2	ECHAM4, HadCM3	Modelo WaterGAP
7.9 Turismo y ocio	A2	HadCM3/HIRHAM	Proyecto PESETA del CCI
7.10 Salud	SRES A2, B2	---	Proyecto PESETA del CCI
7.11 Costes del cambio climático para la sociedad	Varios	---	IPCC 2007

Nota: --- proyección basada en la sensibilidad al cambio climático observada y en las tendencias cualitativas esperadas en el clima.

* evaluación combinada basada en múltiples escenarios o modelos climáticos basados fundamentalmente en el IE-EE del IPCC.

Criosfera

El seguimiento directo de la cubierta de hielo y de la cubierta nivosa se inició hace un siglo, vigilándose también desde el espacio desde hace algunas décadas. Las técnicas de medición y de cobertura han ido mejorando paulatinamente. Los cambios en los equilibrios de masas de las capas de hielo y los glaciares, que constituyen la información clave para evaluar la disponibilidad de agua, y los cambios en el nivel del mar adquieren una especial relevancia. Los cambios en la extensión y la duración de la cubierta nivosa y del hielo marino también son importantes debido a los mecanismos de retroalimentación del sistema climático mundial generados por el cambio (efecto albedo).

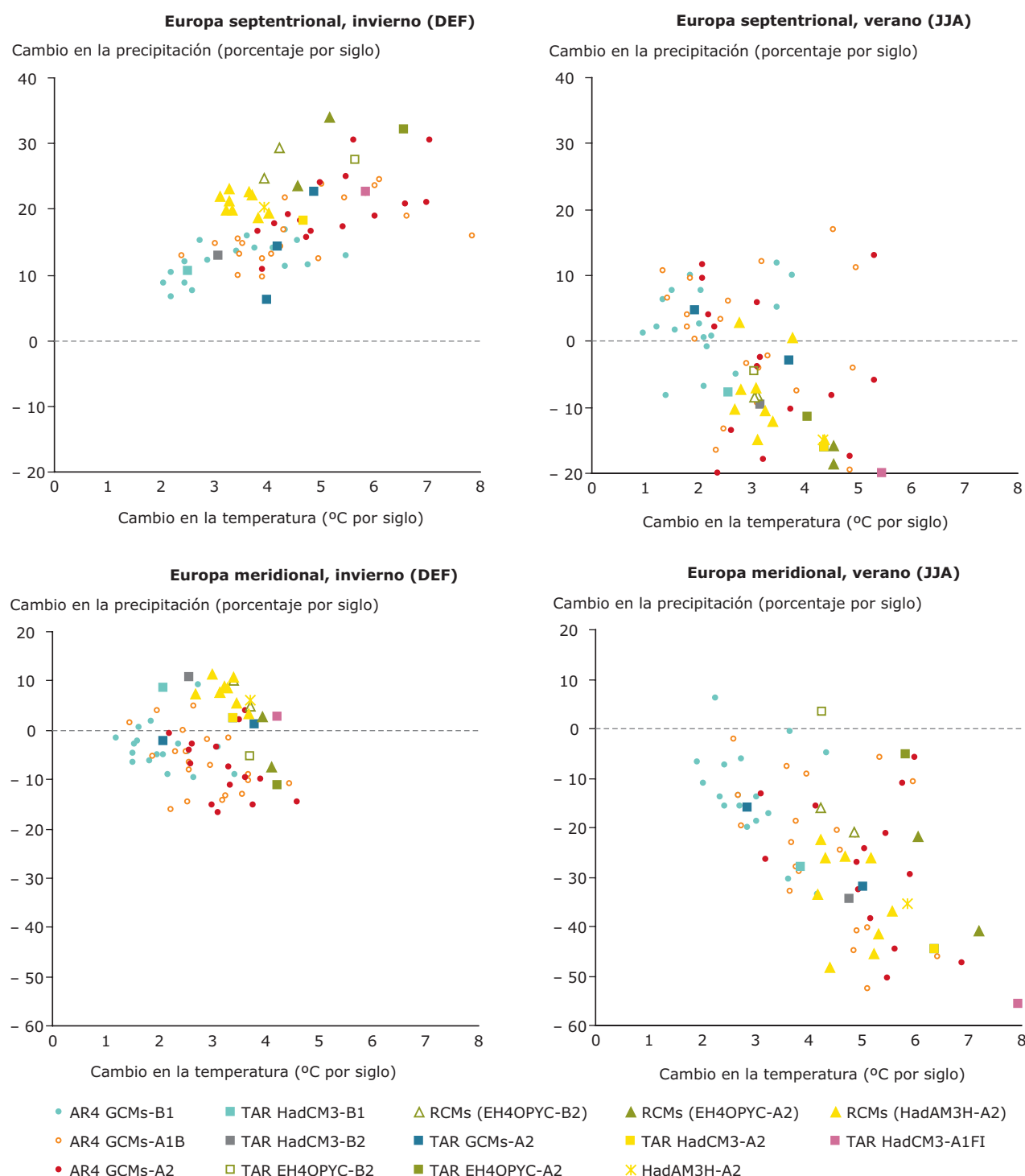
La evidencia de estos cambios es firme con respecto a los glaciares montañosos seleccionados, que están sometidos a un seguimiento intensivo. Pero casi ningún glaciar lo está y la incertidumbre de los cambios en los balances de masas sigue siendo elevada, sobre todo en el caso de la capa de hielo de Groenlandia. Cada vez se acumulan más indicios de que los ritmos de fusión de la capa de hielo de Groenlandia y el hielo marino ártico se están acelerando, desconociéndose el riesgo que supondría alcanzar los puntos de inflexión. En Groenlandia, las actividades de vigilancia e investigación se han intensificado no hace demasiado y podríamos disponer de mejores conocimientos en el futuro. Se ha constatado la fusión del permafrost, pero los datos y los conocimientos para las evaluaciones cuantitativas siguen siendo bastante escasos debido a la brevedad de las series cronológicas.

Biodiversidad marina y ecosistemas

Las observaciones del cambio del nivel del mar y de la temperatura de superficie marina se realizan con ayuda de una red de estaciones terrestres y por satélite. Las observaciones terrestres del nivel del mar son menos precisas y se ven afectadas por los desplazamientos verticales de la corteza terrestre (lo que en ocasiones se denomina rebote isostático) y abarcan únicamente algunos puntos espaciales. Las observaciones de la

temperatura de la superficie marina se realizan en una red de estaciones oceánicas y, también en este caso, su resolución espacial es baja, aunque ambos parámetros son objeto de medición desde hace más de un siglo. Las observaciones por satélite de la elevación del nivel del mar y de la temperatura del mar son más precisas y exhaustivas en términos temporales y espaciales, pero se han iniciado hace relativamente poco tiempo. Mediante la combinación de ambos tipos de medición se han obtenido unas series cronológicas precisas de los cambios históricos producidos en el nivel medio del mar y en la temperatura de superficie del mar. Las proyecciones relativas al cambio en el nivel del mar y en la temperatura de superficie marina están, no obstante, sujetas a un elevado grado de incertidumbre debido a nuestros limitados conocimientos respecto a algunos de los procesos físicos más importantes. En el caso de la variación del nivel del mar, los procesos incluyen la dinámica interna del hielo de las capas de hielo de Groenlandia y del Ártico, los cambios producidos en la estructura térmica de los océanos y los cambios producidos en el desplazamiento vertical de la tierra. La temperatura de la superficie marina se ve afectada por los cambios producidos en el contenido de energía calorífica del océano y en la circulación oceánica a gran escala y, dado que los conocimientos acerca de los procesos físicos son escasos, son objeto de intensas investigaciones científicas y de debates.

En el medio biológico marino se han realizado observaciones que indican que está variando la estacionalidad de los organismos marinos y que las especies meridionales se están desplazando hacia el norte, lo que, en algunos casos, puede entrañar graves ramificaciones para toda la red alimentaria marina. La Fundación Sir Alistair Hardy para la Ciencia Oceánica es la principal autora de los estudios realizados en el ámbito del plancton (la parte inferior de la red alimentaria marina) para lo que ha utilizado el Registrador Continuo de Plancton. Estas observaciones son las únicas realizadas durante un período cronológico suficiente (se iniciaron en 1958) y que abarcan una zona geográfica lo suficientemente amplia (el Atlántico nororiental y el mar del Norte) como para

Figura 8.1 Comparación de escenarios de la temperatura del aire y la precipitación aplicada en los estudios de impacto descritos en este informe

Nota: Los datos se han obtenido del proyecto PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk/index.html>). Los resultados se han dividido entre Europa septentrional (a,b) y Europa meridional (c,d), invierno (diciembre a febrero, DJF) y verano (junio a agosto, JJA). Las proyecciones corresponden a los últimos 30 años del siglo XXI y guardan relación con una simulación del clima en el momento actual en distintos escenarios del IE-EE de emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles. Las proyecciones de los modelos climáticos mundiales (GCM) se incluyeron en los informes de evaluación tercero (TIE) y cuarto (CIE) del IPCC. Los resultados de dos GCM del TIE (HadAM3H y EH4OPYC) se extrapolaron de una forma dinámica al proyecto PRUDENCE del 5º Programa Marco, con ayuda de modelos climáticos regionales (RCM, símbolos triangulares). Se seleccionaron otras proyecciones de GCM del TIE (símbolos cuadrados) como escenarios en varios estudios de impacto del 5º y 6º Programa Marco (por ejemplo, ATEAM, ACCELERATES, ALARM). Se muestran proyecciones recientes de GCM de conjuntos de modelos múltiples del CIE (círculos pequeños) para fines comparativos. Las definiciones de Europa septentrional varían ligeramente: para los GCM del CIE, 48,0°N–75,0°N, 10,0°O–40,0°E (datos de Isaac Held, comunicación personal); para los GCM del TIE, 47,5°N–67,5°N, 10,0°O–40,0°E (datos de Ruosteenoja *et al.*, 2003); para los RCM, 47,5°N–75,0°N, 15°O–35°E.

Fuente: Carter y Fronzek, 2008.

documentar el hecho de que están produciéndose cambios a gran escala.

La parte inferior de la red alimentaria marina también será la primera en recibir los impactos de los cambios producidos por la acidificación de los océanos, pero no se sabe con certeza cuál será el ritmo de acidificación. La observación por satélite del color del océano constituye una tecnología de seguimiento nueva y prometedora, pero todavía no puede mostrar cambios a gran escala en las concentraciones de clorofila porque las series cronológicas disponibles resultan demasiado breves (diez años). Tampoco disponemos de las observaciones terrestres suficientes como para interpretar las causas de los cambios observados desde el espacio. Se han efectuado observaciones de algunas especies de peces que se han desplazado hacia el norte, pero el análisis de los cambios a nivel comunitario constituye un ámbito de investigación reciente. Como los conocimientos acerca de los cambios en el medio oceanográfico físico y en la respuesta biológica marina a los cambios físicos son escasos, no es posible efectuar proyecciones sobre los cambios en la biodiversidad marina y los ecosistemas. Se necesita una evaluación sistemática de los cambios en los ecosistemas marinos en términos de cobertura de los mares europeos y comparabilidad de los métodos utilizados.

Cantidad de agua

La evaluación de los cambios producidos en relación con la cantidad de agua y, especialmente, las inundaciones, guarda relación con la cuantificación de las tendencias en materia de precipitaciones medias y extremas que todavía están sometidas a incertidumbre, sobre todo en el caso de la pluviosidad estival. Pequeñas diferencias en la precipitación prevista pueden provocar diferencias mucho más sustanciales en la cantidad de agua, sobre todo en zonas donde las precipitaciones anuales son muy bajas (véase la figura 8.1). En algunas zonas europeas, el caudal de los ríos también guarda relación con los cambios producidos en los balances de masas de la nieve y el hielo. Además, la extracción del agua, la gestión del agua en las cuencas y los cambios en el uso y la gestión del suelo también dificultan enormemente la atribución de los cambios producidos en la descarga media de agua, las inundaciones y las sequías al forzamiento del cambio climático.

Las redes de vigilancia de las cuencas y los niveles freáticos son relativamente densas y arrojan cifras sólidas sobre los flujos medios de agua, pero a causa de algunos factores no climáticos, existe una gran incertidumbre sobre los impactos inducidos por el cambio climático. Con respecto a las proyecciones, las incertidumbres en los modelos climáticos aumentan las incertidumbres respecto a los cambios previstos en las cantidades de agua. Más concretamente, para las proyecciones de los cambios en las inundaciones y en las sequías se necesita información más detallada sobre los cambios regionales producidos en la precipitación

y la gestión del suelo. Una información fiable sobre las cantidades constituye una información clave para la gestión adecuada del agua y la protección contra las inundaciones. Todavía no se dispone de una visión paneuropea de los caudales y cambios de los ríos, pero se obtendrá en el futuro próximo a través del Sistema de Información sobre el Agua para Europa (WISE).

Calidad del agua

Ya se han realizado numerosas observaciones de cambios pronunciados en la temperatura del agua, la cubierta de hielo y la estratificación en los ríos y los lagos europeos que pueden atribuirse fundamentalmente al aumento de la temperatura del aire. Algunas observaciones a largo plazo describen claramente los cambios y éstos se sustentan sobre un conjunto creciente de observaciones a corto plazo (30-50 años) que proporcionan pruebas adicionales de los cambios en los regímenes de temperatura de los ríos y los lagos.

El agua dulce europea y su biodiversidad, que desempeña una función importante en la calidad del agua, ya se ven afectadas por numerosas presiones humanas relacionadas con el uso del suelo, la contaminación con nutrientes y sustancias peligrosas y la deposición ácida. Debido a la dificultad que entraña la separación de los efectos de los factores climáticos de otras presiones, apenas se dispone de datos empíricos que demuestren de forma inequívoca el impacto del cambio climático sobre la calidad del agua y la ecología del agua dulce. Por otro lado, existen abundantes indicaciones de que el agua dulce, ya sometida al estrés provocado por las actividades humanas, es muy susceptible a los impactos del cambio climático.

Los cambios en el contenido de oxígeno y la estratificación de los lagos que pueden atribuirse al cambio climático se derivan de actividades de vigilancia e investigación a nivel local y nacional. Es evidente que, sobre todo el aumento de la temperatura y la consiguiente reducción de oxígeno incrementarán la presión ejercida sobre los ecosistemas de agua dulce, especialmente cuando las cargas de contaminantes y de nutrientes ya sean elevadas, aunque la cuantificación de estos procesos sigue sujeta a un elevado grado de incertidumbre. La calidad del agua en Europa es objeto de seguimiento periódico y se informa sobre ella en el marco de la Directiva marco sobre el agua y los datos están disponibles a través de WISE.

Los ecosistemas terrestres y la biodiversidad

La fenología y la diversidad vegetal y animal muestran cambios significativos, pero las tendencias observadas siguen siendo bastante incompletas en términos de cobertura europea y número de especies observadas. El hecho de que cada especie presente un grado de sensibilidad distinto a los cambios en la temperatura, la precipitación, la humedad y otras variables climáticas constituye un problema fundamental. La utilización de la

distribución observada de las especies en relación con las condiciones climáticas actuales favorece la formulación de proyecciones sobre el hábitat natural de estas especies en los climas futuros. Sin embargo, éstas no toman en consideración la resiliencia individual ni la capacidad de adaptación de las especies, los impactos positivos y negativos de la gestión ni el riesgo de desconexión de las relaciones entre predador y presa en la red alimentaria. Hasta ahora, el impacto del cambio climático sobre el número de individuos por especie (abundancia), que también es muy importante para la variedad genética y, por consiguiente, para la supervivencia, sólo ha recibido una atención muy limitada. El seguimiento de la biodiversidad se basa en parte en un cribado periódico de las plantas y las especies de las zonas protegidas. La mayor parte de la información paneuropea se basa en proyectos de investigación temporales, en redes voluntarias y en las actividades realizadas por las ONG.

Existe más información sobre los cambios observados en la fenología, basada fundamentalmente en redes de observación voluntarias que en los cambios en la distribución. No obstante, sólo existen unas proyecciones muy genéricas sobre los cambios fenológicos, basadas fundamentalmente en interpretaciones de los cambios en las temperaturas. Es necesario dedicar un mayor esfuerzo a la mejora de la vigilancia, sobre todo en zonas donde el muestreo de datos sigue siendo bastante deficiente o donde los datos existen, pero no se pueda acceder a ellos. Se necesita una observación sistemática y armonizada de las especies y de su abundancia en toda Europa para ampliar los conocimientos, aún muy fragmentarios, de los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas y la biodiversidad.

Suelo

El clima constituye un factor clave para el desarrollo del suelo que controla los procesos principales de su formación y afecta directa o indirectamente a las grandes amenazas para el suelo en la UE. La erosión eólica del suelo viene determinada fundamentalmente por la velocidad del viento combinada con las sequías. Los cambios en la pluviosidad intensa y la pérdida de la cubierta vegetal aumentan el riesgo de erosión hídrica. No obstante, sólo se han cuantificado las cantidades del material del suelo eliminado por la erosión en zonas reducidas. Sólo se dispone de información sobre los riesgos de erosión y no sobre la pérdida real del suelo. Las incertidumbres relativas a la pérdida de suelo total y los impactos del cambio climático en relación con la gestión humana son muy elevadas.

Los suelos constituyen la mayor reserva de carbono sobre la tierra. En unas condiciones ambientales constantes, el ritmo de acumulación de carbono en el suelo se compensa con la pérdida de carbono originada por la descomposición de restos de vegetación muerta y la mineralización del humus. Este balance da lugar a un almacenamiento de carbono en los suelos durante largos períodos. El aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación aumentan los ritmos

de descomposición/mineralización y aceleran la liberación de CO₂ de los suelos hacia la atmósfera. La degradación de la turba también provoca importantes emisiones de CH₄ y N₂O a la atmósfera. La cantidad de estas emisiones de GEI procedentes del suelo puede ser muy superior a las reducciones obtenidas a través de las medidas de mitigación y consecuentemente puede acelerar gravemente el calentamiento de la tierra. Los conocimientos sobre la magnitud de la renovación del carbono en los suelos a escala de la UE no son suficientes, lo que hace que la evaluación y la cuantificación del efecto del cambio climático sobre los suelos y la evaluación de la retroalimentación del impacto del suelo sobre el clima sea incierta.

La biodiversidad de los organismos del suelo es muy compleja y apenas es objeto de seguimiento. Los organismos son muy importantes para procesos tales como la descomposición de la materia orgánica y para la estabilidad de los ecosistemas. Pero sólo se dispone de un número muy limitado de datos sobre las especies beneficiadas o perjudicadas con el clima cambiante y los impactos que podrían tener estos cambios sobre el funcionamiento de los ecosistemas.

Para ampliar los conocimientos sobre los procesos del suelo en condiciones de cambio climático se necesitaría más información sobre las tendencias de los fenómenos meteorológicos extremos, datos más detallados sobre el almacenamiento de carbono y un conocimiento profundo de los procesos del suelo en condiciones de un clima cambiante.

Agricultura y silvicultura

Los sectores de la agricultura y la silvicultura se ven afectados por el cambio climático y por impactos no climáticos. En ambos sectores predomina claramente la gestión y por ello es difícil atribuir las tendencias específicas obtenidas en las observaciones de campo únicamente a un clima cambiante.

No obstante, las observaciones directas y las reconstrucciones basadas en modelos favorecen la identificación de los impactos específicos y relacionados con el cambio climático sobre el crecimiento de las plantas. También se están realizando experimentos muy amplios, por ejemplo FACE (experimentos de enriquecimiento de CO₂ al aire libre) para investigar los impactos del cambio climático sobre los cultivos y las especies arbóreas, incluidas las interacciones con unas concentraciones de CO₂ cada vez mayores y los impactos de la gestión. Los resultados se extrapolan posteriormente con ayuda de modelos para estimular la respuesta fisiológica de las plantas a las condiciones cambiantes. Todavía existe una carencia significativa de conocimientos y de datos sobre las respuestas individuales de las especies al cambio climático y las consiguientes variaciones a nivel competitivo entre bosques y praderas, debido también a que las respuestas de las especies dependen de la edad y el tiempo de exposición. Para que los análisis y las proyecciones

relativos a la agricultura y la silvicultura sean más precisos haría falta información más detallada sobre la gestión correspondiente a cada emplazamiento y cada rodal. Las proyecciones de los riesgos de incendio son bastante sólidas, pero las proyecciones de otros fenómenos extremos como las tormentas están sujetas a un elevado grado de incertidumbre. Existe una gran carencia de información sobre los posibles cambios en las presiones que ejercen las plagas y las enfermedades sobre los cultivos y los bosques en condiciones de un clima cambiante.

Las evaluaciones paneuropeas serán ciertamente más precisas y fiables cuando las condiciones locales específicas y las restricciones fisiológicas de los cultivos, los árboles y las plagas se tomen plenamente en consideración. Pero la falta de conocimientos acerca de las respuestas fisiológicas de las especies vegetales individuales al cambio climático y el hecho de que las proyecciones de futuro del clima a escala regional sigan siendo imprecisas, hacen que las proyecciones estén sujetas a incertidumbre, sobre todo en las zonas donde la precipitación sea el factor limitante para la agricultura y la silvicultura. Se espera que las proyecciones para las zonas donde el factor limitante es la temperatura arrojen unos resultados más robustos.

Salud humana

Los impactos del cambio climático sobre la salud humana incluyen los impactos directos debidos principalmente a las olas de calor, a las tormentas y a las inundaciones y los impactos indirectos de enfermedades transmitidas por vectores, por el agua y por los alimentos. Los impactos positivos incluyen una reducción del riesgo de muertes provocadas por las bajas temperaturas. Varios estudios han tratado de cuantificar los impactos directos de la temperatura, mientras que se carece de estudios empíricos sobre la cuantificación de los demás fenómenos extremos y de los impactos indirectos. En el contexto del cuarto informe de evaluación del IPCC (GT II, capítulo 8: salud humana; Confalonieri *et al.*, 2007) se ha realizado una revisión de las evaluaciones del impacto del cambio climático en la salud. También se han identificado varias necesidades de investigación en los proyectos CASHh y EDEN. Con respecto a las proyecciones, no se han realizado muchas evaluaciones de los futuros impactos potenciales del cambio climático sobre la salud y las que existen hacen hincapié en varias limitaciones y raramente cuantifican los impactos en materia de salud. Se necesitan métodos y herramientas para evaluar los fenómenos «impredecibles», como por ejemplo, los agentes patógenos y los modos de transmisión nuevos y desconocidos. También se necesitan unos enfoques integrados a través de unas redes internacionales y una investigación que combine la ecología y la biología de los vectores, la microbiología, los huéspedes, la genética de los patógenos y los vectores, la epidemiología, las ciencias médicas y sociales, incluida la economía. Los datos necesarios para tomar decisiones adecuadas en relación con el cambio climático presentan una resolución espacial y temporal marcada por excesivas lagunas. Un ejemplo es la falta

de información sobre la competencia de diferentes vectores, en circunstancias climáticas cambiantes, de numerosas especies de artrópodos (insectos y garrapatas), la competencia de numerosas especies de vertebrados (roedores, murciélago, otros mamíferos silvestres y aves) y de conocimientos acerca de la base genética, biológica y ecológica de la distribución vector/huésped y su competencia de transmisión para las bacterias, los virus y los parásitos.

Hasta qué grado se vayan a ejecutar las acciones de adaptación, como las medidas preventivas y los cambios apropiados en los sistemas sanitarios, o hasta qué punto van a resultar efectivas en las próximas décadas, constituye un importante foco de incertidumbre (Confalonieri *et al.*, 2007; Campbell-Lendrum *et al.* 2007; McMichael *et al.*, 2004). Se necesita un análisis más detallado de las combinaciones efectivas de las acciones de adaptación y mitigación del cambio climático para reducir las enfermedades cardiorrespiratorias.

Economía

Entre los efectos económicos del cambio climático figuran los impactos directos de fenómenos extremos como tormentas, inundaciones y olas de calor, así como los impactos indirectos que se producen mediante los cambios en los sistemas de los ecosistemas para la agricultura, la silvicultura, la biodiversidad y los bienes y servicios de los ecosistemas, el turismo, la energía y el agua, y la salud humana. Los cambios en la temperatura también están afectando a la demanda energética, provocando un descenso de la calefacción en invierno y un aumento de la refrigeración en verano. Los efectos económicos del cambio climático varían en las distintas zonas de Europa y dependen, en gran medida, de la resiliencia de las sociedades y de su capacidad para adaptarse a los cambios.

Para poder realizar evaluaciones más exhaustivas del aumento de los costes de los daños se necesitan datos y estudios más integrados en todos los sectores acerca de la contribución específica del cambio climático antropogénico y de los desarrollos sociales y económicos (por ejemplo, aumentos de la riqueza e infraestructuras). Sólo se dispone de datos limitados acerca de los costes de la adaptación y se necesita mucha más información acerca de las buenas prácticas a escala local, regional y nacional. Además, es necesario mejorar considerablemente las metodologías de evaluación para entender la variedad y la complejidad de los efectos económicos vinculados al cambio climático, prestando especial atención a la valoración de los ecosistemas.

8.3 Necesidades futuras

Para abordar las carencias de información arriba indicadas (sección 8.2) se deberá considerar un sistema continuado e integrado de seguimiento y observación para Europa. La integración deberá afectar a los elementos principales del sistema climático, entre ellos, las observaciones

atmosféricas, oceanográficas, terrestres, criosféricas y biológicas. Deberá ser continuo con el fin de generar datos de todos los elementos clave del sistema con una duración y una precisión adecuadas, tanto in situ como por medio de satélites.

Existen numerosas iniciativas orientadas a mejorar la disponibilidad de los datos relacionados con el cambio climático en Europa, relacionadas a su vez con actividades desarrolladas a nivel mundial. Para ampliar los conocimientos acerca del sistema climático, la red del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC) identificó un conjunto de datos tal y como se describe en la tabla 8.3 que precisan de series cronológicas de larga duración sobre los procesos atmosféricos, marinos y terrestres con una resolución temporal y espacial adecuadas (SMOC, 2003). La mayoría de estos datos también forman parte de los indicadores de la AEMA sobre los impactos del cambio climático, como es el caso de las condiciones atmosféricas próximas a la superficie, la temperatura de la superficie del mar, la cubierta de hielo y nieve y el permafrost.

El programa de la UE de «Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad» (GMES) (CE, 2004) tiene por objeto reforzar la capacidad de vigilancia en Europa y en el mundo mediante la facilitación de datos en forma de «servicios» a partir de 2008. La combinación de la información procedente de satélites y de estaciones terrestres dirigida a los servicios y la financiación prevista de éstos mejorarán considerablemente la disponibilidad de datos acerca de los cambios producidos en el medio ambiente. Muchos de los servicios desarrollados mejorarán también la disponibilidad de variables climáticas esenciales. Por ejemplo, la información del «servicio marino» incluirá las temperaturas de la superficie marina y la salinidad, el «servicio de vigilancia terrestre» proporcionará información sobre los cambios en la cobertura del suelo y el «servicio atmosférico» vigilará las concentraciones de gases de efecto invernadero, los aerosoles y la radiación. Los servicios se ampliarán progresivamente durante los próximos años y se instaurarán plenamente en 2013. El GMES también está

contribuyendo a las actividades mundiales actualmente coordinadas y racionalizadas en el programa del Sistema Global de Sistemas de Observación de la Tierra (GEOSS) (GEOSS, 2005). Otro programa importante dirigido a la vigilancia es el Elemento de Usuario de Datos (DUE) de la Agencia Espacial Europea (AEE) que incluye datos mundiales y regionales sobre la cobertura del suelo (GlobCover), el color de los océanos (GlobColour), el carbono (GlobCarbon), la criosfera (GlobIce, GlobSnow, Permafrost) y otros datos relevantes para el clima.

Los proyectos de investigación europeos están ampliando nuestros conocimientos sobre los procesos y los impactos y mejorando la disponibilidad de datos. No obstante, normalmente falta continuidad en la financiación. Como consecuencia, las mediciones realizadas en estos proyectos sólo abarcan breves períodos de tiempo y/o zonas reducidas, lo que limita a menudo el valor de la información para las evaluaciones del cambio climático. Se financian algunos proyectos destinados a la ejecución de servicios de vigilancia de GMES tales como MERSEA y MyOcean, para el servicio marino, Geoland-1 y Geoland-2 para el servicio terrestre y GEMS y MACC para el servicio atmosférico. Estos proyectos se transferirán a un programa operativo a largo plazo a partir de 2013.

Los proyectos relacionados con el clima (para obtener más información, véase el recuadro 8.1), tales como PRUDENCE y ENSEMBLES están mejorando la disponibilidad de proyecciones regionales del cambio climático. Otros proyectos en curso o ya concluidos abordan sectores específicos, como ACCELERATES para la agricultura, y ALARM para la biodiversidad, o EUROLIMPACS y CLIME para los ecosistemas de agua dulce. Algunos proyectos se centran en regiones, como CIRCE, para la zona mediterránea, o investigan los impactos del cambio climático y sus impactos sociales y económicos, como ATEM sobre la vulnerabilidad de los servicios de los ecosistemas en Europa. cCASHh se ha centrado en comprender las necesidades de adaptación en materia de salud humana y ADAM está centrado en las estrategias de adaptación y mitigación dirigidas a respaldar la política climática europea, y PESETA

Tabla 8.3 Variables climáticas esenciales tal y como establece el CNMUCC para la detección y la modelización del cambio climático

Dominio	Variables esenciales del clima	
Atmosférico (sobre tierra, mar y hielo)	Superficie:	Temperatura del aire, precipitación, presión atmosférica, presupuesto de radiación de superficie, velocidad y dirección del viento, vapor de agua
	Aire superior:	Presupuesto de radiación de la tierra (incluyendo irradiación solar), temperatura de aire superior (incluyendo USM - unidad de sonido de microonda - refugencias), velocidad y dirección del viento, vapor de agua, propiedades de nubes.
	Composición:	Dióxido de carbono, metano, ozono, otros gases invernaderos duraderos, propiedades de los aerosoles.
Oceánico	Superficie:	Temperatura de la superficie del mar, salinidad de la superficie del mar, nivel del mar, estado del mar, hielos de mar, corriente, color del océano (para actividad biológica), presión parcial del dióxido de carbono.
	Sub-superficie:	Temperatura, salinidad, corrientes, nutrientes, carbón, trazos del océano, fitoplancton.
Terrestre	Descarga del río, uso del agua, aguas subterráneas, niveles de lagos, cubierta de nieve, glaciares y capas de hielo, permafrost y suelo estacionalmente congelado, albedo, cubierta del suelo (incluyendo tipo de vegetación), fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (FAPAR), índice del área de hoja (LAI), biomasa, perturbación de fuego.	

Fuente: SMOC, 2003.

aborda las proyecciones de los impactos económicos del cambio climático en distintos sectores y regiones como los sistemas costeros, la demanda energética, la salud humana, la agricultura, el turismo y las inundaciones. El proyecto EuroHEAT analizó la eficacia de la alerta temprana y la acción en materia de salud pública y el proyecto MicroDYS analizó los desastres, con relevancia no sólo para Europa sino a escala mundial. Se puede acceder a una descripción más detallada sobre las actividades de investigación relacionadas con el cambio climático en CE, 2005; CE, 2006a; CE, 2006b; CE, 2006c; CE, 2007a; CE, 2007b.

También existen numerosas actividades a escala nacional y regional, entre ellas programas de seguimiento e investigación públicos y no gubernamentales (por ejemplo, proyectos transfronterizos o el Programa Interreg).

Las actividades de seguimiento y los resultados de esta investigación ayudarán a comprender, y tal vez a reducir, las incertidumbres relacionadas con la falta de datos y conocimientos acerca del cambio climático y sus impactos y mejorarán la base para la toma de decisiones. En resumen, desde el punto de vista de los impactos del cambio climático y la adaptación, las iniciativas futuras deberían centrarse principalmente en los siguientes aspectos:

- mejores datos y mejores modelos para las proyecciones para las próximas décadas (además de modelos para el período hasta 2100) en términos de densidad espacial, calidad y duración de las series cronológicas (incluidos datos históricos) para detectar cambios ambientales debidos al cambio climático;
- información mejorada sobre fenómenos extremos, especialmente necesaria para la adaptación;

- acceso público mejorado, oportuno y gratuito a los datos y las herramientas a través de descripciones de metadatos, estandarización, armonización, arquitectura e infraestructura mejoradas para la gestión de datos, incluidos unos centros de datos distribuidos y portales para normalizar el acceso;
- investigación que amplíe los conocimientos sobre los vínculos existentes entre los comportamientos de los sistemas vulnerables, los cambios climáticos y las fuerzas motrices no climáticas, así como las retroalimentaciones positivas y negativas.

Los programas de investigación previstos a escala nacional y europea resultarán en un rápido incremento de la cantidad de datos e información sobre los impactos del cambio climático, la vulnerabilidad y la adaptación. Un centro de intercambio europeo sobre impactos del cambio climático, vulnerabilidad y adaptación puede hacer que esta información esté ampliamente disponible para los usuarios potenciales de toda Europa. La información podría incluir datos sobre los cambios climáticos observados y previstos, información sobre sistemas vulnerables, indicadores, herramientas para las evaluaciones de impacto y medidas de adaptación que constituyan a buenas prácticas. La creación de este centro de intercambio debería ser coherente con los centros de datos sobre medio ambiente existentes y gestionados por la AEMA (sobre el cambio climático, el agua, el uso del suelo, la biodiversidad y el aire) y el CCI (centros de datos sobre silvicultura y suelo) y otras plataformas de información existentes como el Centro de intercambio de información sobre biodiversidad de la Comunidad Europea (gestionado por la AEMA) y el sistema de Información sobre el clima, el medio ambiente y la salud (CEHAIS) de la OMS. Este centro de información también podría proporcionar información europea importante a organizaciones internacionales tales como el CMNUCC.

Recuadro 8.1 Investigación sobre impactos y adaptación del cambio climático a escala europea

Varios proyectos de investigación de la Comisión Europea se centran en los impactos del cambio climático en Europa o en proporcionar la base para su evaluación. El número de proyectos que abordan cuestiones de adaptación es, a fecha de hoy, menos abundante. Los proyectos tienen por objeto ampliar los conocimientos sobre el funcionamiento del sistema terrestre, el origen y los impactos del cambio climático y pronosticar su evolución en el futuro, a fin de guiar y sustentar los compromisos internacionales adquiridos por la UE y las políticas de la UE, y proporcionar una base para la mitigación efectiva y para las medidas de adaptación. Todavía no ha concluido prácticamente ningún proyecto del 6º Programa marco (6PM), pero para este proyecto ha sido posible utilizar algunos resultados intermedios. A continuación se ofrece un listado de proyectos paneuropeos importantes financiados en el seno del Programa Marco de Investigación de la UE (5PM y 6PM) y de los programas del Fondo de Desarrollo Regional de la UE (Interreg) y de la iniciativa GMES.

ADAGIO (Adaptación de la agricultura en las regiones europeas en riesgo ambiental por el cambio climático; 6PM). ADAGIO evaluará y

divulgará medidas potenciales de adaptación al cambio climático en la agricultura, teniendo en cuenta tres de las principales regiones vulnerables de Europa (Europa meridional y la zona del Mediterráneo, Europa central y Europa oriental) en colaboración con 11 socios. Si se comparan con los diversos impactos potenciales del cambio climático sobre los agroecosistemas, las medidas potenciales de adaptación son incluso más complejas debido al elevado número de opciones disponibles a través del factor humano. Por lo tanto, se deben adoptar nuevas políticas en las condiciones del cambio climático considerando todas las medidas de adaptación potenciales que resulten factibles.

ADAM (Estrategias de adaptación y mitigación: apoyo a la política climática europea; 6PM). El proyecto ayudará a comprender mejor las sinergias, los compromisos y los conflictos existentes entre las políticas de adaptación y mitigación a varias escalas. ADAM respaldará la formulación de políticas de la UE durante la próxima fase del desarrollo del Protocolo de Kioto, en particular las negociaciones en torno un régimen de política climática mundial posterior a 2012, e informará el surgimiento de nuevas estrategias de adaptación para Europa.

Recuadro 8.1 Investigación sobre impactos y adaptación del cambio climático a escala europea (cont.)

ACCELERATES (Evaluación de los efectos del cambio climático sobre el uso del suelo y los ecosistemas; del análisis regional al ámbito europeo; 5PM).

Este proyecto ha creado bases de datos de referencia geográfica regionales y europeas, ha desarrollado modelos que representan procesos biofísicos y socioeconómicos de los agroecosistemas a escala europea y ha propuesto metodologías con una resolución espacial y temporal óptima. En el proyecto se analizaron respuestas de adaptación al cambio climático de los agro-ecosistemas con ayuda de modelos integrados.

AMICA (Adaptación y mitigación: un enfoque integrado de política sobre cambio climático; Interreg IIIC).

AMICA constituye un enfoque completamente nuevo en materia de política ambiental diseñado para combinar la protección climática a largo plazo con medidas de adaptación a corto y a medio plazo a escala local, como un medio para mejorar la coherencia de las decisiones y la asignación de medios financieros.

ASTRA (Formulación de políticas y estrategias de adaptación al cambio climático en la región del mar Báltico; Interreg IIIB). Su objetivo principal consiste en evaluar los impactos regionales del continuo cambio climático mundial y formular estrategias y políticas dirigidas a la adaptación al cambio climático. Este proyecto abordará las amenazas derivadas del cambio climático en la región del mar Báltico, como por ejemplo temperaturas extremas, sequías, incendios forestales, marejadas ciclónicas, tormentas invernales e inundaciones. Para elaborar estrategias de adaptación y mitigación es esencial contar con la participación de urbanistas y partes interesadas a nivel local y regional.

ATEAM (Modelización y análisis avanzado de los ecosistemas terrestres; 5PM). El objetivo principal de ATEAM consistía en evaluar la vulnerabilidad de los sectores humanos dependientes de los servicios de los ecosistemas con respecto al cambio climático. Para nosotros la vulnerabilidad es una función de los impactos potenciales y la capacidad de adaptación al cambio mundial. Se elaboró un mapa con escenarios múltiples, internamente coherentes, de las vulnerabilidades y los impactos potenciales de los sectores agrícola y forestal, del almacenamiento de carbono, la conservación de la naturaleza y turismo de montaña en el siglo XXI a escala regional y en cuatro segmentos temporales (1990, 2020, 2050, 2080).

BRANCH (La biodiversidad requiere adaptación en Europa noroccidental a causa del clima cambiante; Interreg IIIB).

La biodiversidad se debe adaptar al cambio climático. En el caso de numerosos hábitats y especies será difícil porque el paisaje europeo está fragmentado y algunas decisiones tomadas en el pasado limitan las oportunidades de adaptación. Los responsables de la planificación territorial deben actuar ya para crear un paisaje y un litoral que pueda soportar los efectos del cambio climático. BRANCH ofrece la orientación y la evidencia para pasar a la acción. Ha congregado a los responsables de política, de la planificación territorial y a científicos de Inglaterra, Francia y los Países Bajos para demostrar cómo la planificación territorial podría ayudar a adaptar la biodiversidad al cambio climático.

CIRCE (Investigación sobre el cambio climático y sus impactos: el medio ambiente mediterráneo; 6PM).

Este proyecto pronosticará y cuantificará los

impactos físicos del cambio climático y evaluará las consecuencias del mismo para la sociedad y la economía de las poblaciones de la zona mediterránea. Se identificarán estrategias de adaptación y mitigación en colaboración con las partes interesadas regionales.

CIRCLE (Investigación del impacto climático para una Europa ampliada; 6PM). El análisis del impacto climático y la respuesta de adaptación deben estar articulados a partir de un conjunto coherente de investigación y el principal objetivo de CIRCLE consiste en contribuir a dichas iniciativas mediante el establecimiento de redes y el ajuste de los programas de investigación nacionales de los 19 países asociados de CIRCLE. La instauración de un Espacio Europeo de Investigación (EEI) para el cambio climático constituye el fin último de CIRCLE.

CASHh (Cambio climático y estrategias de adaptación para la salud humana; 5PM). Este proyecto evaluó los impactos del cambio climático sobre las enfermedades transmitidas por el agua, los alimentos y por vectores y las consecuencias de las inundaciones y las olas de calor para la salud. Con él se obtuvieron un conjunto de recomendaciones dirigidas a las acciones de adaptación en Europa.

ClimChAlp (Cambio climático, impactos y estrategias de adaptación en el espacio alpino; Interreg III B).

El objetivo del proyecto ClimChAlp consiste en respaldar las decisiones políticas relativas a la protección y la prevención de desastres naturales derivados del cambio climático en los Alpes. El cambio climático constituye un gran desafío para el desarrollo social y económico. Los Alpes son especialmente sensibles al cambio climático y el calentamiento reciente casi ha triplicado la media mundial. Los modelos climáticos prevén cambios en las próximas décadas, entre ellos, una reducción de la cubierta de nieve en cotas bajas, un retroceso de los glaciares y una fusión del permafrost en cotas más elevadas.

CLIME (El clima y los impactos de los lagos en Europa; 5PM).

El principal objetivo de CLIME consistía en elaborar un conjunto de métodos y modelos que puedan servir para gestionar los lagos y las cuencas en las condiciones de cambio climático actuales y futuras. Se utilizaron los escenarios climáticos regionales más actualizados y modelos de lagos y cuencas existentes para abordar cuestiones básicas para la aplicación de la Directiva marco sobre el agua. CLIME aprovechó los sistemas de vigilancia automática de la calidad del agua ya instaurados en varios de los lagos objetivo del proyecto. CLIME tenía un componente socioeconómico que prestaba especial atención a dos cuestiones relativas a la calidad del agua que previsiblemente adquirirán cada vez más importancia.

EDEN (Enfermedades emergentes en un medio ambiente europeo cambiante; 6PM). Este proyecto integrado tiene por objeto la identificación y la clasificación de los ecosistemas europeos y las condiciones ambientales que pueden influir en la distribución espacial y temporal de los agentes patógenos humanos, así como en su dinámica. El proyecto elabora y coordina un conjunto de métodos genéricos, herramientas y habilidades tales como modelos predictivos, herramientas de vigilancia y alerta temprana a los que pueden recurrir los responsables de la toma de decisiones para la evaluación del riesgo, el respaldo de las decisiones de intervención y las políticas de salud pública.

Recuadro 8.1 Investigación sobre impactos y adaptación del cambio climático a escala europea (cont.)

ENSEMBLES (Predicción por conjuntos de cambios climáticos y sus impactos; 6PM). Este proyecto tiene por objeto el desarrollo de un sistema de predicción por conjuntos para el cambio climático basado en los principales modelos actuales del Sistema Terrestre, de alta resolución, mundial y regional elaborados en Europa, validados con conjuntos de datos para Europa de calidad controlada, alta resolución y cuadrículados. En última instancia, se pretende utilizar los resultados del sistema de predicción por conjuntos para un espectro de análisis de impactos, incluida la agricultura, la salud, la seguridad alimentaria, la energía, los recursos hídricos, los seguros y la gestión de riesgos meteorológicos.

ESPACE (Planificación territorial europea: adaptación a los fenómenos climáticos). El proyecto ESPACE, que reconoce la función crucial que desempeña la planificación territorial para favorecer la adaptación de la sociedad al cambio climático, tiene por objeto cambiar la filosofía y la práctica de la planificación territorial. ESPACE se ha centrado en gestionar los impactos del cambio climático sobre la planificación territorial para la gestión del agua, entre ellos: las inundaciones (de zonas costeras, de estuarios y ribereñas); recursos hídricos y calidad del agua.

EUROLIMPACS (Evaluación de los impactos del cambio mundial sobre los ecosistemas de agua dulce europeos; 6PM). Euro-limpacs es un proyecto destinado a evaluar los efectos del futuro cambio mundial sobre los ecosistemas de agua dulce europeos. Este programa de investigación tiene relevancia para la Directiva marco sobre el agua de la UE y otras directivas y protocolos europeos e internacionales y respalda la carta de la UE sobre desarrollo sostenible. Las cuatro áreas principales de investigación de Euro-limpacs son las siguientes: factores de estrés del cambio de los ecosistemas acuáticos, el impacto del cambio climático sobre distintas escalas temporales, herramientas de gestión de los ecosistemas y cuestiones transversales.

GEMS (Vigilancia regional y mundial del Sistema Terrestre (atmósfera) por medio de datos in situ y por satélite; iniciativa GMES). GEMS está desarrollando sistemas exhaustivos de vigilancia y previsión para el seguimiento de los componentes atmosféricos importantes para el clima y la calidad del aire. Estos sistemas proporcionarán la base para el desarrollo de servicios de información y datos con valor añadido dentro de la iniciativa de Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad (GMES). El proyecto GEMS creará un nuevo sistema operativo europeo para el seguimiento operativo de la dinámica y la química atmosférica a nivel mundial y un sistema operativo para producir previsiones mejoradas sobre química atmosférica a medio y a corto plazo, a través de una utilización mucho más eficiente de los datos de satélites.

MACIS (Minimización de y adaptación a los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad; 6PM). MACIS resume los conocimientos ya adquiridos sobre los impactos del cambio climático en la biodiversidad y elabora unos métodos de evaluación de los potenciales impactos futuros. En colaboración con responsables políticos y partes interesadas, MACIS muestra qué puede hacerse para frenar la pérdida de biodiversidad. Más concretamente, MACIS elabora métodos de identificación de los hábitats con mayor riesgo y de identificación de todos los hábitats amortiguadores de los impactos negativos. Junto con los

responsables políticos y las partes interesadas, MACIS y los proyectos COCONUT y ALARM (muy vinculados a MACIS) identifican las opciones políticas para frenar la pérdida de biodiversidad causada por el cambio climático y el cambio en el uso del suelo.

MERSEA (Ambiente marino y seguridad para la zona europea; iniciativa GMES). MERSEA tiene por objeto desarrollar un sistema europeo para 2008 para el seguimiento operativo y la previsión de la física oceánica, la biogeoquímica y los ecosistemas a escala mundial y regional. Está previsto que este sistema de vigilancia oceánica constituya una red operativa de adquisición sistemática de datos (observación de la tierra desde satélites, in situ desde redes de observación oceánica, y campos de forzamiento superficial de agencias de predicción meteorológica numérica) y distribuye información para satisfacer las necesidades de los distintos usuarios. Las escalas temporales de predicción de interés abarcan desde días hasta meses. Este sistema integrado será el componente oceánico de GMES («Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad»).

MICRODIS (Impactos sanitarios, sociales y económicos integrados de los fenómenos extremos datos, métodos y herramientas; 6PM). El objetivo global de este proyecto consiste en reforzar las estrategias de preparación, mitigación y prevención a fin de reducir los impactos económicos, sociales y sanitarios de los fenómenos extremos en las comunidades. Sus objetivos y metas principales consisten en fortalecer las bases científicas y empíricas de la relación entre los fenómenos extremos y sus impactos económicos, sociales y sanitarios, a fin de desarrollar e integrar conceptos, métodos, herramientas y bases de datos en pro de un enfoque mundial común y una mejora de los recursos humanos y la capacidad de reacción en Asia y en Europa mediante formación e intercambio de información.

NeWater (Nuevos enfoques de la gestión adaptativa del agua en condiciones de incertidumbre; 6PM). NeWater identifica los elementos clave de los regímenes actuales de gestión del agua e investiga su interdependencia. El proyecto reconoce el valor de las soluciones con un grado de integración elevado y fomenta unos conceptos de gestión integrada de los recursos hídricos. No obstante, NeWater se basa en la hipótesis de que la gestión integrada de los recursos hídricos no es posible a menos que los regímenes actuales de gestión del agua sean sometidos a un cambio en pro de una gestión más adaptativa del agua. La investigación se centra consecuentemente en los procesos de transformación de estos elementos durante su transición hacia una gestión integrada y adaptativa de los recursos hídricos.

PESETA (Proyección de los impactos económicos del cambio climático en sectores de la Unión Europea a partir de un análisis ascendente; 6PM). El objetivo del proyecto PESETA consiste en la realización de una evaluación multisectorial de los impactos del cambio climático en Europa en los horizontes temporales 2011–2040 y 2071–2100 centrándose en los impactos del cambio climático sobre los sistemas costeros, la demanda energética, la salud humana, la agricultura, el turismo y las inundaciones. Se hace hincapié en los costes económicos del cambio climático en Europa sobre la base de una evaluación del impacto físico y unos escenarios climáticos avanzados y de alta resolución.

Recuadro 8.1 Investigación sobre impactos y adaptación del cambio climático a escala europea (cont.)

PRUDENCE (Predicción de escenarios regionales e incertidumbres para definir riesgos y efectos del cambio climático en Europa; 5PM). El proyecto PRUDENCE utilizó varios modelos regionales para evaluar el cambio climático a escalas espaciales de entre 30 y 50 km. El proyecto desarrolló escenarios para la variabilidad del cambio climático con distintos grados de confianza para el período 2071–2100, proporcionando una base cuantitativa para evaluar los riesgos derivados de los cambios en la meteorología y el clima regional en distintas zonas de Europa. Se estimaron cambios futuros en los fenómenos extremos como las sequías, las inundaciones y los vendavales y se proporcionó una estimación sólida de la probabilidad y la magnitud de dichos cambios.

SCENES (Escenarios del agua para Europa y para los estados vecinos; 6PM). SCENES es un proyecto cuatrienal de desarrollo y análisis de un conjunto de escenarios globales del futuro del agua dulce de Europa hasta 2025, que aborda toda la «Gran» Europa y llega hasta el Cáucaso y los Urales e incluye los países de la

costa mediterránea del norte de África y de Oriente Próximo. Estos escenarios constituirán un punto de referencia para la planificación estratégica a largo plazo del desarrollo de recursos hídricos europeos, alertará a los responsables políticos y a las partes interesadas de los problemas emergentes y permitirá a los gestores de las cuencas fluviales probar los planes hídricos regionales y locales de acuerdo con una serie de incertidumbres y sorpresas inherentes a un proceso de planificación estratégica a más largo plazo.

WATCH (El agua y el cambio mundial; 6PM). Este proyecto congregará a las comunidades hidrológica, de los recursos hídricos y climáticos para analizar, cuantificar y pronosticar los componentes de los ciclos hídricos mundiales presentes y futuros, así como de los consiguientes estados de los recursos hídricos; evaluar sus incertidumbres y aclarar la vulnerabilidad global de los recursos hídricos mundiales en relación con los sectores económicos y sociales más importantes.

Glosario⁽³²⁾

Adaptación: ajuste en sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales o sus efectos, que puede moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Se pueden distinguir varios tipos de adaptación, entre ellas la preventiva, la autónoma y la planificada.

Aerosoles: conjunto de partículas sólidas o líquidas presentes en el aire, de tamaño generalmente comprendido entre 0,01 y 10 µm, que permanecen en la atmósfera al menos durante varias horas. Los aerosoles pueden ser de origen natural o antropogénico. Pueden influir en el clima de varias maneras: directamente, dispersando y absorbiendo radiación, o indirectamente, actuando como núcleos de condensación de nube o modificando las propiedades ópticas y el período de vida de las nubes.

Albedo: la fracción de radiación solar reflejada por una superficie u objeto. A menudo se expresa como porcentaje.

Análisis coste-beneficio: medición monetaria de todos los impactos negativos y positivos asociados a una acción determinada. Los costes y beneficios se comparan en términos de su diferencia y/o proporción, como un indicador de cómo una inversión determinada u otra acción política resulta exitosa desde una perspectiva social.

Antropogénico: resultante o producido por acciones humanas.

Atmósfera: la cubierta gaseosa que rodea la Tierra. La atmósfera seca está formada casi en su totalidad por nitrógeno y por oxígeno junto con una serie de pequeñas cantidades de otros gases como dióxido de carbono y ozono.

Base / referencia: la base o referencia es el estado que se utiliza para medir el cambio. Puede ser una «base de referencia actual», en cuyo caso representa condiciones observables y presentes en este momento, o una «base de referencia futura», es decir, un conjunto de condiciones proyectadas, que excluyen la fuerza impulsora que produce el fenómeno. Las interpretaciones alternativas de las condiciones de referencia pueden dar lugar a múltiples bases de referencia.

Biosfera (terrestre y marina): la parte del sistema Tierra que comprende todos los ecosistemas y organismos vivos en la atmósfera, en la tierra (biosfera terrestre) o en los océanos (biosfera marina), incluida materia orgánica muerta derivada, como basura, materia orgánica en suelos y desechos oceánicos.

Calentamiento de la tierra: el calentamiento de la tierra hace referencia al aumento gradual, observado o previsto, de la temperatura mundial en superficie, como una de las consecuencias del forzamiento radioactivo provocado por las emisiones antropogénicas.

Cambio climático abrupto: la no linealidad del sistema climático puede llevar a un cambio climático abrupto, lo que se denomina a veces fenómenos repentinos o incluso sorprendentes. El término abrupto denota generalmente escalas de tiempo más rápidas que la del forzamiento que induce los cambios. Sin embargo, no todos los cambios climáticos abruptos responden necesariamente a un forzamiento externo. Se han sugerido fenómenos abruptos de reorganización drástica de la circulación termohalina, de desglaciación rápida y deshielo masivo del permafrost, o de aumento de la respiración de los suelos hasta el punto de inducir cambios rápidos en el ciclo de carbono. Otros pueden suceder sin que se esperen, como consecuencia del forzamiento fuerte y rápidamente cambiante de un sistema no lineal.

Cambio climático: el cambio climático hace referencia a todo cambio de clima atribuido a la variabilidad natural o a la actividad humana que persiste durante un período prolongado. Esta acepción difiere de la del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que define el «cambio climático» como «un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables».

Capacidad de adaptación (en relación con los impactos del cambio climático): la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los cambios extremos) a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las

⁽³²⁾ Para la elaboración de este glosario se han seleccionado los términos más relevantes de una serie de glosarios incluidos en los informes de la Cuarta Evaluación del IPCC (IPCC, 2007) (Véanse: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-annex-sp.pdf>; <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-annex-sp.pdf>; <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-annex-sp.pdf>).

consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas.

Ciclo del carbono: término utilizado para describir el flujo del carbono (en diversas formas; por ejemplo, como dióxido de carbono) a través de la atmósfera, los océanos, la biosfera terrestre y la litosfera.

Circulación termohalina: circulación oceánica a gran escala que transforma las aguas oceánicas superiores, de baja densidad, en aguas profundas e intermedias de mayor densidad y las devuelve a la región superior oceánica. La circulación es asimétrica: la conversión a aguas densas tiene lugar sólo en determinadas regiones de latitudes altas, mientras que el retorno a la superficie comporta corrientes ascendentes lentas y procesos difusivos en regiones geográficas mucho más extensas. La CTH se debe a la presencia de aguas más densas en la superficie o en sus inmediaciones por efecto de una baja temperatura o de una salinidad elevada pero, pese a su sugerente denominación, está causada también por fuerzas mecánicas, como el viento o las mareas.

Clima: en sentido estricto, se suele definir el clima como «estado medio del tiempo» o, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y variabilidad de las cantidades pertinentes durante períodos que pueden ser de meses a miles o millones de años. Las cantidades aludidas son casi siempre variables de la superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento), aunque en un sentido más amplio el «clima» es una descripción (incluso una descripción estadística) del estado del sistema climático. El período normal es de treinta años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Costes macroeconómicos: este tipo de costes suele medirse en términos de variaciones del producto interior bruto o de su crecimiento, o de disminuciones del bienestar o del consumo.

Criosfera: el componente del sistema climático que consiste en el conjunto de nieve, hielo y suelo helado (incluido el permafrost) por encima y por debajo de la superficie terrestre y oceánica.

Desarrollo sostenible: desarrollo que responde a las necesidades culturales, sociales, políticas y económicas de la generación actual sin poner en peligro las posibilidades de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

Desertificación: degradación de la tierra en extensiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas como resultado de diversos factores, que incluyen variaciones climatológicas y actividades humanas.

Además, el Convenio de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD) define la degradación de las tierras como una reducción o pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áreas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas del uso del suelo o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de asentamiento, como: (i) la erosión del suelo causada por el viento o el agua; (ii) el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o económicas del suelo; y (iii) la pérdida de vegetación natural a largo plazo.

Efecto invernadero: los gases de efecto invernadero absorben eficazmente la radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la tierra, por la propia atmósfera debido a estos mismos gases, y por las nubes. La radiación atmosférica se emite en todos los sentidos, incluso hacia la superficie terrestre. Por ello, los gases de efecto invernadero atrapan el calor dentro del sistema de la troposfera terrestre. A este fenómeno se le denomina efecto invernadero. La radiación infrarroja térmica de la troposfera se vincula en gran medida a la temperatura de la atmósfera a la altitud en que se emite. En la troposfera, la temperatura disminuye generalmente con la altura. En efecto, la radiación infrarroja emitida hacia el espacio se origina en altitud con una temperatura que tiene una media de -19°C , en equilibrio con la radiación solar neta de entrada, mientras que la superficie terrestre tiene una temperatura media mucho mayor, de unos $+14^{\circ}\text{C}$. Un aumento de la concentración de gases de efecto invernadero da lugar a una mayor opacidad infrarroja de la atmósfera y, por lo tanto, una radiación efectiva en el espacio desde una altitud mayor a una temperatura más baja. Esto causa un forzamiento radiativo que intensifica el efecto invernadero, suscitando así el denominado efecto invernadero intensificado.

Equilibrio energético: diferencia entre los valores totales de energía entrante y saliente. Si el equilibrio es positivo, se produce un calentamiento; si es negativo, sobreviene un enfriamiento. Sobre la base de una media en todo el planeta y sobre períodos prolongados, este equilibrio debe ser nulo. Como el sistema climático recibe virtualmente toda su energía del sol, un equilibrio nulo implica que, en todo el planeta, la cantidad de radiación solar entrante debe ser, por término medio, igual a la suma de la radiación solar reflejada saliente más la radiación infrarroja térmica saliente emitida por el sistema climático. Toda perturbación de este equilibrio mundial de radiación,

ya sea de forma natural o provocada por el hombre, se denomina forzamiento radiativo.

Erosión: proceso de detracción y transporte de suelo y roca por desgaste externo o desmoronamiento, o por efecto de corrientes de agua, glaciares, olas, vientos y aguas subterráneas.

Escenario (de cambio) climático: representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, basada en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas e hipótesis de forzamientos radiativos, que se construye habitualmente para ser utilizada de forma explícita como un insumo para los modelos de los impactos del cambio climático. Un «escenario de cambio climático» es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual.

Escenario de emisiones: representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que son, en potencia, radiativamente activas (por ejemplo, gases de efecto invernadero, aerosoles), basada en un conjunto coherente de hipótesis sobre las fuerzas que las determinan (por ejemplo, el desarrollo demográfico y socioeconómico, o la evolución tecnológica) y sobre las principales relaciones entre ellas. Los escenarios de concentraciones, derivados a partir de los escenarios de emisiones, se utilizan como insumos en una simulación climática para calcular proyecciones climáticas. En el IPCC (1992) se utilizaron un conjunto de escenarios de emisiones como base para las proyecciones climáticas publicadas en IPCC (1996). Este conjunto de escenarios se denomina IS92. En el Informe Especial del IPCC: Escenarios de Emisiones (Nakićenović y Swart, 2000) se publicaron nuevos escenarios de emisiones, los denominados escenarios del IE-EE, algunos de los cuales se utilizan, entre otras cosas, como base para las proyecciones climáticas presentadas en el tercer y el cuarto informe de evaluación del IPCC publicados en 2001 y 2007 respectivamente.

Escenario: descripción plausible y con frecuencia simplificada de cómo puede resultar el futuro, sobre la base de una serie coherente e intrínsecamente homogénea de hipótesis sobre fuerzas motrices y relaciones clave. Los escenarios pueden basarse en proyecciones, pero también suelen basarse en datos adicionales obtenidos de otras fuentes, acompañados en ocasiones de una descripción textual.

Escenarios socioeconómicos: escenarios que describen el futuro en términos de población, de producto interior bruto y de otros factores socioeconómicos importantes para comprender las implicaciones del cambio climático.

Escorrentía: parte de la precipitación que no se evapora ni es transpirada.

Fenología: estudio de los fenómenos naturales que se repiten periódicamente (por ejemplo, las etapas de desarrollo o la migración) y de su relación con el clima y con los cambios estacionales.

Fenómeno meteorológico extremo: fenómeno meteorológico raro en un lugar y época del año determinados. Aunque existen diversas definiciones de «raro», la rareza de un fenómeno meteorológico extremo sería normalmente igual o superior a la de los percentiles 10 o 90 de la función de densidad de probabilidad observada. Por definición, las características de lo que se denomina estado del tiempo extremo pueden variar en función del lugar en sentido absoluto. Un fenómeno climático extremo aislado no puede atribuirse sencilla y directamente a un cambio climático antropogénico, ya que siempre existe una probabilidad finita de que haya ocurrido de manera natural. Cuando una pauta de actividad atmosférica extrema persiste durante cierto tiempo (por ejemplo, durante una estación), puede clasificarse como fenómeno climático extremo, especialmente si arroja un promedio o un total que de por sí es extremo (por ejemplo, sequías o precipitaciones intensas durante una estación).

Forzamiento radiativo: cambio en la irradiación neta vertical (expresada en vatios por metro cuadrado, Wm^{-2}) en la tropopausa debido a un cambio interno o externo en el forzamiento del sistema climático como, un cambio en la concentración de CO_2 o la potencia del sol.

Gas de efecto invernadero (GEI): los gases de efecto invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, naturales o antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad da lugar al efecto invernadero. El vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. La atmósfera contiene, además, un determinado número de gases de efecto invernadero enteramente antropogénicos, como los halocarburos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del CO_2 , del N_2O y del CH_4 , el Protocolo de Kioto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarburos (HFC) y los perfluorocarburos (PFC).

Hidrosfera: componente del sistema climático que consta de la superficie líquida como los océanos, mares, ríos, lagos de agua dulce, aguas subterráneas, etc.

Incertidumbre: expresión del nivel de desconocimiento de un valor (como el estado futuro del sistema climático). La incertidumbre puede ser resultado de una falta de información o de desacuerdos sobre lo que se conoce o puede conocer. Puede tener muchos orígenes, desde errores cuantificables en los datos a conceptos o terminologías definidos con ambigüedad, o proyecciones inciertas de conductas humanas. Por consiguiente, la incertidumbre se puede representar con valores cuantitativos como, por ejemplo, un rango de valores calculados por varios modelos, o de forma cualitativa, por ejemplo, reflejando el juicio expresado por un equipo de expertos.

Medidas: las medidas son tecnologías, procesos y prácticas que reducen las emisiones de GEI o sus efectos por debajo de los niveles futuros previstos. Se conceptúan como medidas las tecnologías de energía renovable, los procesos de minimización de residuos, los desplazamientos al lugar de trabajo mediante transporte público, etc.

Mitigación: intervención antropogénica para reducir el forzamiento antropogénico del sistema climático; abarca diversas estrategias encaminadas a reducir las fuentes y emisiones de gases de efecto invernadero y a potenciar sus sumideros.

Oscilación del Atlántico Norte (OAN): la Oscilación del Atlántico Norte consiste en variaciones opuestas de la presión barométrica cerca de Islandia y de las Azores. Es el modo predominante de variabilidad climática en invierno en la región del Atlántico Norte.

Paleoclima: clima existente durante períodos anteriores al desarrollo de los instrumentos de medición, que abarca el tiempo histórico y el geológico, y respecto del cual sólo se dispone de registros climáticos sustitutos.

Probabilidad: la verosimilitud de una eventualidad o resultado, siempre que sea posible estimarla por métodos probabilísticos.

Producto interior bruto: el producto interior bruto (PIB) es el valor monetario del conjunto de bienes y servicios producidos en una nación.

Pronóstico: resultado previsto de los patrones establecidos de carácter físico, tecnológico, económico, social, conductual, etc.

Proyección: evolución potencial de una cualidad o de un conjunto de magnitudes, frecuentemente calculada con ayuda de un modelo. Las proyecciones se diferencian de las predicciones por hacer hincapié sobre el hecho de que las primeras están basadas en determinadas hipótesis – por ejemplo, sobre el futuro

socioeconómico y tecnológico, que podrían o no cumplirse y, por consiguiente, adolecen de un grado de incertidumbre considerable.

Radiación infrarroja térmica: radiación emitida por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Es conocida también como radiación terrestre o radiación de onda larga, y no debe confundirse con la radiación cuasi-infrarroja del espectro solar. Por lo general, la radiación infrarroja abarca un intervalo característico de longitudes de onda (espectro) más largas que la del color rojo en la parte visible del espectro. En la práctica, el espectro de la radiación infrarroja térmica es distinto del de la radiación de onda corta o solar debido a la diferencia de temperaturas entre el sol y el sistema Tierra-atmósfera.

Reaseguro: transferencia de una parte de los riesgos de aseguramiento primarios a un sector secundario de aseguradoras (reaseguradoras); esencialmente, un «seguro para aseguradoras».

Régimen fluvial/caudal: flujo de agua de un canal fluvial, expresado, por ejemplo, en m³/s.

Resiliencia: capacidad de un sistema social o ecológico para absorber una alteración sin perder ni su estructura básica o sus modos de funcionamiento, ni su capacidad de autoorganización, ni su capacidad de adaptación al estrés y al cambio.

Retroalimentación: mecanismo de interacción entre procesos en virtud del cual el resultado de un proceso inicial desencadena cambios en un segundo proceso que, a su vez, influye en el proceso inicial. Una retroalimentación positiva intensifica el proceso original, mientras que una retroalimentación negativa lo reduce.

Salinización: la acumulación de sales en los suelos.

Sensibilidad climática: en los informes del IPCC, la sensibilidad climática en equilibrio denota el cambio en condiciones de equilibrio de la temperatura media mundial anual en superficie por efecto de una duplicación de la concentración atmosférica equivalente de CO₂. Debido a ciertas limitaciones de orden informático, la sensibilidad climática en equilibrio de un modelo climático suele estimarse ejecutando un modelo de circulación general atmosférica, acoplado a un modelo oceánico de capa mixta, ya que la sensibilidad climática en equilibrio está en gran parte determinada por los procesos atmosféricos. Pueden utilizarse modelos eficientes conducentes a condiciones de equilibrio con un océano dinámico. La sensibilidad climática efectiva es una medida relacionada con ello que sortea este requisito de equilibrio. Se evalúa a partir de una simulación para condiciones en evolución

que no están en equilibrio. Es una medida de la fuerza de las retroalimentaciones climáticas en un momento determinado que pueden variar con el historial de los forzamientos y el estado climático. El parámetro de sensibilidad climática (unidades: $^{\circ}\text{C} (\text{W m}^{-2})^{-1}$) hace referencia al cambio, en condiciones de equilibrio, de la temperatura media mundial en la superficie cuando el forzamiento radiativo varía en una unidad. La respuesta climática episódica es la variación de la temperatura mundial en superficie, promediada a lo largo de 20 años, centrada en el instante de duplicación del dióxido de carbono atmosférico, es decir, en el año 70 de un experimento de incremento de un 1% anual-1 de dióxido de carbono en compuestos con un modelo climático acoplado mundial. Denota la magnitud y rapidez de la respuesta de la temperatura en superficie al forzamiento por gases de efecto invernadero.

Sesión de control: serie de modelos que se realiza para brindar una «base de referencia» a fin de establecer comparaciones con experimentos de cambio climático. La serie de control utiliza valores constantes para el forzamiento radiativo debido a los gases de efecto invernadero y a los aerosoles antropogénicos correspondientes a las condiciones de la era preindustrial.

Sistema climático: el sistema climático se define en términos de la dinámica y de las interacciones de cinco componentes principales: la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la superficie terrestre y la biosfera. La dinámica del sistema climático se produce por forzamientos internos y externos, como los resultantes de erupciones volcánicas, de variaciones solares, o de modificaciones por causas humanas del equilibrio radiativo del planeta, por ejemplo como consecuencia de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero o de cambios en el uso del suelo.

Sumidero: todo proceso, actividad o mecanismo que detrae de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol, o alguno de sus precursores.

Umbral: en un sistema, grado de magnitud de un proceso que desencadena un cambio repentino o rápido. En un sistema ecológico, económico o de otro tipo, punto o grado de magnitud a partir del cual aparecen propiedades nuevas que invalidan predicciones basadas en relaciones matemáticas válidas para grados de magnitud inferiores.

Uso del suelo: conjunto de métodos, actividades e insumos llevados a cabo en un determinado tipo de cobertura del suelo (acciones humanas). Los fines sociales y económicos con los que se utiliza el suelo (por ejemplo, los pastos, la extracción de madera y la conservación). El cambio en los usos del suelo ocurre cuando, por ejemplo, se transforma un bosque para convertirlo en tierras agrícolas o zonas urbanas.

Variabilidad climática: el concepto de variabilidad climática denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa).

Vulnerabilidad: grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático, y en particular la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación.

Referencias

Resumen

ACIA, 2004. *Impacts of a warming Arctic: Arctic Climate Impact assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

AEMA, 2004. *Efectos del cambio climático en Europa. Una evaluación basada en indicadores*, Edición española: Ministerio de Medio Ambiente, 2005.

CE, 2004. *Comunicación de la Comisión al Parlamento europeo y al Consejo: Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad (GMES): creación de una capacidad GMES para 2008 – (Plan de acción (2004-2008))* COM(2004)65 final <http://www.gmes.info/library/files/>.

CE, 2008. Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las regiones: Hacia un Sistema de Información Ambiental Compartida (SEIS), COM(2008)46 final, Bruselas, 1.2.2008.

CE, 2007. Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de marzo de 2007 por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea (INSPIRE) <http://inspire.jrc.it/>.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

Libro verde de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones Adaptación al cambio climático en Europa: Opciones de actuación para la UE (SEC(2007) 849).

PNUMA, 2007. *Global Outlook for Ice and Snow* (www.unep.org/geo/geo_ice).

Capítulo 1 Introducción

ACIA, 2004. *Impacts of a warming Arctic: Arctic Climate Impact assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

AEMA, 2004. *Efectos del cambio climático en Europa. Una evaluación basada en indicadores*, Edición española: Ministerio de Medio Ambiente, 2005.

Informe sobre desarrollo humano 2007/2008. La lucha contra el cambio climático: solidaridad frente a un mundo dividido,

Palgrave Macmillan, 2007, <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-2008/chapters/spanish/>.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

PNUMA, 2007. *Global Outlook for Ice and Snow* (www.unep.org/geo/geo_ice).

Capítulo 2 El sistema climático y las actividades humanas

Crutzen P. J. y Stoemer, E. F., 2000. The 'Anthropocene' International Geosphere Biosphere Programme. *Newsletter* 41: 17–18.

Denman, K. L.; Brasseur, G.; Chidthaisong, A.; Ciais, P.; Cox, P. M.; Dickinson, R. E.; Hauglustaine, D.; Heinze, C.; Holland, E.; Jacob, D.; Lohmann, U.; Ramachandran, S.; da Silva Dias, P. L.; Wofsy, S.C. y Zhang, X., 2007. Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. En: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor M. y Miller H. L., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York. Nueva York, EE. UU.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

Jansen, E.; Overpeck, J.; Briffa, K. R.; Duplessy, J.-C.; Joos, F.; Masson-Delmotte, V.; Olago, D.; Otto-Bliesner, B.; Peltier, W. R.; Rahmstorf, S.; Ramesh, R.; Raynaud, D.; Rind, D.; Solomina, O.; Villalba, R.; Zhang, D., 2007. Palaeoclimate. En: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. y Miller, H. L. (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York. Nueva York, EE. UU.

Lüthi, D.; Le Floch, M.; Bereiter, B.; Blunier, T.; Barnola, J.-M.; Siegenthaler, U.; Raynaud, D.; Jouzel, J.; Fischer, H.; Kawamura, K. y Stocker, T. F., 2008. High resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature* 453: 379–382.

Capítulo 3 Impactos observados del cambio climático

Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P. y coautores, 2007. Technical Summary. *Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 23–78.

Rosenzweig, C.; Casassa, G.; Karoly, D. J.; Imeson, A.; Liu, C.; Menzel, A.; Rawlins, S.; Root, T. L.; Seguin, B.; Tryjanowski, P., 2007. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 79–131.

Rosenzweig, C.; Karoly, D.; Vicarelli, M.; Neofotis, P.; Wu, Q.; Casassa, G.; Menzel, A.; Root, T. L.; Estrella, N.; Seguin, B.; Tryjanowski, P.; Liu, C.; Rawlins, S.; e Imeson, A., 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 453: 353–357.

Capítulo 4 Impactos del cambio climático: qué nos deparará el futuro

AEMA, 2007. *Cambio climático: el coste de la inacción y el coste de la adaptación*. Edición española: Ministerio de Medio Ambiente. 2007

CE, 2008. *Dos veces 2 para el 2020: El cambio climático, una oportunidad para Europa*. Comunicación de la Comisión COM(2008)13, 16, 17, 18, 19 final, Bruselas.

CMNUCC, 2007. Decisión -/CP.13, Plan de Acción de Bali.

den Elzen, M. G. J.; Meinshausen, M. y van Vuuren, D. P., 2007. Multi-gas emission envelopes to meet greenhouse gas concentration targets: costs versus certainty of limiting temperature increase. *Global Environmental Change* 17 (2): 260–280.

IPCC, 2001. *Cambio Climático 2001: Mitigación*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

IPCC, 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor M. y Miller H. L., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

IPCC, 2007b. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate*

Change, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C.E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

IPCC, 2007c. *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate change*, Metz, B.; Davidson, O. R.; Bosch, P. R.; Dave, R.; Meyer, L. A. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

IPCC, 2007d. *Climate Change 2007: Synthesis report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ Press, Cambridge, Reino Unido.

Nakićenović, N. y R. Swart (eds.), 2000. *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, EE. UU., pág. 599.

Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P. y coautores, 2007. Technical Summary. *Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M.L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P. J. y C.E. Hanson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 23–78.

Scientific Expert Group on Climate Change (Bierbaum, R.M.; Holdren, J. P.; MacCracken, M. C.; Moss, R. H. y Raven, P. H. (eds.)), 2007. *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*. Informe preparado para la Comisión de las Naciones Unidas sobre desarrollo sostenible. Research Triangle Park, N.C., y Washington, D.C.: Sigma Xi y la Fundación de las Naciones Unidas.

Van Vuuren, D.; Den Elzen, M.; Lucas, P.; Eickhout, B.; Strengers, B.; Van Ruijven, B.; Wonink, S. y Van den Houdt, R., 2007. Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels. An assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change* 81: 119–159.

Wigley, T. M. L. y Raper, S. C. B., 2001. Interpretation of high projections for global-mean warming. *Science* 293 (5529): 451–454.

Capítulo 5 Una evaluación basada en indicadores

Sección 5.2 La atmósfera y el clima

ACIA, 2004. *Impacts of a warming Arctic: Arctic Climate Impact assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

Andersson, C.; Langner, J. y Bergström, R., 2007. Interannual variation and trends in air pollution over Europe due to Climate

- variability during 1958–2001 simulated with a regional CTM coupled to the ERA40 reanalysis, *Tellus* 59B: 77–98.
- Bengtsson, L.; Hodges, K. I. y Hagemann, S., 2004. Sensitivity of the ERA40 reanalysis to the observing system: determination of the global atmospheric circulation from reduced observations, *Tellus* 56A: 456–471.
- Beniston, M., 2007. Linking extreme climate events and economic impacts: Examples from the Swiss Alps. *Energy Policy* 35: 5384–5392.
- Beniston, M.; Stephenson, D. B.; Christensen, O. B.; Ferro, C. A. T.; Frei, C.; Goyette, S.; Halsnaes, K.; Holt, T.; Jylh , K.; Koffi, B.; Palutikoff, J.; Sch ll, R.; Semmler, T. y Woth, K., 2007. Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81: 71–95.
- Böhm R.; Auer, I.; Brunetti, M.; Maugeri, M.; Nanni, T.; Sch ner, W., 2001. Regional temperature variability in the European Alps: 1760–1998 from homogenized instrumental time series. *International Journal of Climatology* 21: 1779–801.
- Christensen, J. H.; Hewitson, B.; Busuioc, A.; Chen, A.; Gao, X.; Held, I.; Jones, R.; Kolli, R. K.; Kwon, W.-T.; Laprise, R.; Maga a Rueda, V.; Mearns, L.; Menéndez, C. G.; Räisänen, J.; Rinke, A.; Sarr, A. y Whetton, P., 2007. Regional Climate Projections. En: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. y Miller, H. L. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, EE. UU.
- Dankers, R. y Hiederer, R., 2008. *Extreme Temperatures and Precipitation in Europe: Analysis of a High-Resolution Climate Change Scenario*. EUR 23291 EN. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo. 66 p gs.
- Della-Marta, P. M.; Haylock, M. R.; Luterbacher, J. y Wanner, H., 2007. Doubled length of western European summer heat waves since 1880. *Journal of Geophysical Research* 112, D15103, DOI:10.1029/2007JD008510.
- Fiala, J.; Cernikovsky, L.; de Leeuw, F.; Kurfuerst, P., 2003. *Air pollution by ozone in Europe in summer 2003*, Informe Temático de la AEMA N . 3/2003.
- Fischer-Bruns, I.; von Storch, H.; González-Rouco, F. y Zorita E., 2005. Modelling the variability of midlatitude storm activity on decadal and century time scales. *Climate Dynamic*, 25: 461–476.
- Giorgi, F., Bi, X.Q., Pal, J., 2004. Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071–2100), *Climate Dynamic*, 23 (7–8): 839–858.
- Halsn es, K.; K hl, J.; Olesen, J. E., 2007. Turning climate change information into economic and health impacts. *Climatic Change* 81: 145–162.
- Hogrefe, C.; Biswas, J.; Lynn, B.; Civerolo, K.; Ku, J. Y.; Rosenthal, J.; Rosenzweig, C.; Goldberg, R. y Kinney, P. L., 2004. Simulating regional-scale ozone climatology over the eastern United States: model evaluation results. *Atmospheric Environment* 38 (17): 2627–2638.
- Holland, M.; Kinghorn, S.; Emberson, L.; Cinderby, S.; Ashmore, M.; Mills, G. y Harmens, H., 2006. Development of a framework for probabilistic assessment of the economic losses caused by ozone damage to crops in Europe, *CEH project No. C02309NEW*. Centre for Ecology and Hydrology, Natural Environment Research Council, Bangor, Gales, 49 pp.
- Hurrell, J.W.; Kushnir, Y.; Ottersen, G. y Visbeck, M., 2003. An overview of the North Atlantic Oscillation. En: *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact* (Hurrell, J.W. et al. (eds.)). *Geophysical Monograph*, 134, Amer. Geophys. U., Washington, DC:1–35.
- IPCC, 2001. *Cambio climático 2001: la base científica. Contribución del Grupo de trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Houghton, J. T. et al. (eds), Cambridge University Press, Reino Unido.
- IPCC, 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. y Miller, H. L. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- IPCC, 2007b. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Kjellström, E., 2004. Recent and Future Signatures of Climate Change in Europe. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 33 (4): 193–198
- Kjellström, E.; B rring, L.; Jacob, D.; Jones, R.; Lenderink, G. y Schär, C., 2007. Variability in daily maximum and minimum temperatures: recent and future changes over Europe. *Climatic Change* 81: 249–265.
- Klein Tank, A. M. G.; Wijngaard J. B. et al., 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology* 22: 1441–1453.
- Klein Tank, A. M. G. y Können G. P., 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–1999. *Journal of Climate* 16: 3665–3680.
- Klein Tank, A., 2004. *Changing Temperature and Precipitation Extremes in Europe's Climate of the 20th century*. PhD-thesis. De Bilt, Países Bajos, 124 pp.

- Lambert, S. J. y Fyfe J. C., 2006. Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments; results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise. *Climate Dynamics* 26 (7–8): 713–728.
- Lionello, P., 2005. Extreme surges in the Gulf of Venice. Present and future climate Venice and its lagoon, State of Knowledge. Fletcher, C. y Spencer, T. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, pp. 59–65.
- Lloyd-Hughes, B. y Saunders, M. A., 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology* 22: 1571–1592.
- Lowe, J. A. y Gregory, J. M., 2005. The effects of climate change on storm surges around the United Kingdom. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*: 363: 1313–1328.
- Luterbacher, J.; Dietrich, D.; Xoplaki, E.; Grosjean, M.; Wanner, H., 2004. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science* 303: 1499–1503.
- Matulla, C.; Schöner, W.; Alexandersson, H.; von Storch, H. y Wang, X. L., 2007. European storminess: late nineteenth century to present. *Climate Dynamics*, DOI 10.1007/s00382-007-0333-y.
- Meleux, F.; Solmon, F. y Giorgi, F., 2007. Increase in summer European ozone amounts due to climate change. *Atmospheric Environment*, 41, 7577–7587: 10.1016/j.atmosenv.2007.05.048.
- Norrant, C. y Douguédroit, A., 2006. Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000). *Theoretical and Applied Climatology* 83:89–106, DOI 10.1007/s00704-005-0163-y.
- OCDE, 2008. *Environmental outlook to 2030*. OECD Publishing, <http://213.253.134.43/oecd/pdfs/browseit/9708011E.PDF>.
- OMM, 2004. World Meteorological Organization statement on the status of global climate in 2003. *WMO publications*, Ginebra, pág. 12.
- Pinto, J. G.; Fröhlich, E. L.; Leckebusch, G. C. y Ulbrich, U., 2007. Changing European storm loss potentials under modified climate conditions according to ensemble simulations of the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7: 165–175.
- Räisänen J.; Hansson, U.; Ullerstig, A.; Döscher, R.; Graham, L. P.; Jones, C.; Meier, H. E. M.; Samuelsson, P. y Willén, U., 2004. European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics* 22: 13–31.
- Rao, S. T.; Ku, J. Y.; Berman, S.; Zhang, D. y Mao, H., 2003. Summertime characteristics of the atmospheric boundary layer and relationships to ozone levels over the eastern United States. *Pure and Applied Geophysics* 160: 21–55.
- Rijsberman, F. R. y Swart, R. J. (eds.), 1990. Targets and Indicators of Climatic Change. *Stockholm Environment Institute*, Estocolmo, 1990.
- Robock, A.; Mu, M.; Vinnikov, K.; Trofimova, I. V. y Adamenko, T. I., 2005. Forty-five years of observed soil moisture in the Ukraine: No summer desiccation (yet). *Geophysical Research Letters* 32: 10.1029/2004GL021914.
- Schär, C.; Vidale, P. L.; Lüthi, D.; Frei, C.; Häberli, C.; Liniger, M. A. y Appenzeller, C., 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427: 332–336.
- Schär, C. y Jendritzky, G., 2004. Hot news from summer 2003. *Nature* 432: 559–560.
- Schichtel, B. A. y Husar, R. B., 2001. Eastern North American transport climatology during high- and low-ozone days. *Atmospheric Environment* 35: 1029–1038.
- Sillmann, J. y Roeckner, E., 2008. Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. *Climatic Change* 86 (1–2): 83–104.
- Simmons, A. J.; Jones, P. D.; da Costa Bechtold, V.; Beljaars, A. C. M.; Kållberg, P. W.; Saarinen, S.; Uppala, S. M.; Viterbo, P. y Wedi, N., 2004. Comparison of trends and low-frequency variability in CRU, ERA-40, and NCEP/NCAR analyses of surface air temperature. *Journal of Geophysical Research* 109, D24115, DOI:10.1029/2004JD005306.
- Smits, A.; Klein Tank, A. M. G. y Können G. P., 2005. Trends in storminess over the Netherlands, 1962–2002. *International Journal of Climatology* 25: 1331–1344.
- Sousounis P. J.; Scott, C. P. J. y Wilson, M. L., 2002. Possible climate change impacts on ozone in the Great Lakes region: Some implications for respiratory illness. *Journal Of Great Lakes Research* 28 (4): 626–642.
- Stevenson, D. S.; Dentener, F. J.; Schultz, M. G.; Ellingsen, K.; van Noije, T. C. P.; Wild, O.; Zeng, G.; Amann, A.; Atherton, C. A.; Bell, N.; Bergmann, D. J.; Bey, I.; Butler, T.; Cofala, J.; Collins, W. J.; Derwent, R. G.; Doherty, R. M.; Drevet, J.; Eskes, H. J.; Fiore, A. M.; Gauss, M.; Hauglustaine, D. A.; Horowitz, L. W.; Isaksen, I. S. A.; Krol, M. C.; Lamarque, J.-F.; Lawrence, M. G.; Montanaro, V.; Müller, J.-F.; Pitari, G.; Prather, M. J.; Pyle, J. A.; Rast, S.; Rodriguez, J. M.; Sanderson, M. G.; Savage, N. H.; Shindell, D. T.; Strahan, S. E.; Sudo, K. y Szopa, S., 2006. Multimodel ensemble simulations of present-day and near-future tropospheric ozone. *Journal of Geophysical Research* 111, D08301, DOI:10.1029/2005JD006338.
- Tebaldi, C.; Hayhoe, K.; Arblaster, J. M. y Meehl, G.A., 2006. Going to the extremes: an intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change* 79: 185–211.
- Third WCRP International Conference on Reanalysis Conference Statement, 2008. <http://jra.kishou.go.jp/3rac/en.html>.

- Thompson, D. W. J.; Wallace, J. M. y Hegerl, G. C., 2000. Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends. *Journal of Climate* 13: 1018–1036.
- van den Hurk, B.; Klein Tank, A.; Lenderink, G.; van Ulden, A.; van Oldenborgh, G. J.; Katsman, C.; van den Brink, H.; Keller, F.; Bessembinder, J.; Burgers, G.; Komen, G.; Hazeleger, W. y Sybren Drijfhout, S., 2006. KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands, *KNMI Scientific Report* WR 2006-01, 3730 AE De Bilt.
- van der Schrier, G.; Briffa, K. R.; Jones, P. D. y Osborn, T. J., 2006. Summer moisture variability across Europe. *Journal of Climate* 19: 2818–2834.
- Van Dingenen, R.; Raes, F.; Dentener, F.; Putaud, J. P. y Micalle, F., 2008. The relation between temperature anomaly and ozone exceedance as an indication for the role of climate change on ozone exceedance in Europe (manuscrito en preparación).
- van Lannen, H. A. J.; Tallaksen, L. M.; Rees, G., 2007. Drought and climate change (En: *Documento de trabajo de los servicios de la Comisión: Evaluación de impacto* (SEC(2007)993, (COM(2007)414), Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas, Bélgica).
- Vliet, A. J. H. van y Leemans, R., 2006. Ecological impacts of climate change in The Netherlands. In Harley, M.; Cordi, B.; Abreu, A. y Nijhoff, P. (eds.). *Climate change and biodiversity-meeting the challenge; people and nature: plan, adapt and survive: report of the 13th Annual Conference of the European Environment and Sustainable Development Advisory Councils* EEAC, Oxford, 7–10 septiembre 2005, págs. 81–83. English Nature, Londres.
- von Storch, H.; Feser, F.; Pfizenmayer, A. y Weisse, R., 2002. Changig coastal weather and extremes. *Proceedings WCSE/UKC-2002, Weather Risk Management*, Seúl, 2002, 468–473.
- Wade, S. D., 2007. Contribution to EU Medin SSA on drought, 2007 (inédito).
- WBGU, 2003. *Climate Protection Strategies for the 21st Century: Kyoto and Beyond*. Berlín.
- Woth, K., 2005. North Sea storm surge statistics based on projections in a warmer climate: How important are the driving GCM and the chosen emission scenario? *Geophysical Research Letters* 32, L22708, DOI:10.1029/2005GL023762.
- Sección 5.3 Criosfera**
- ACIA, 2004. *Impacts of a warming Arctic: Arctic Climate Impact assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Andreassen, L.M.; Elvehøy, H.; Kjølmoen, B.; Engeset, R.V. y Haakensen, N., 2005. Glacier mass balance and length variations in Norway. *Annals of Glaciology* 42, 317–325.
- Bamber, J. L.; Krabill, W.; Raper, V. y Dowdeswell, J., 2004. Anomalous recent growth of part of a large Arctic ice cap: Austfonna, Svalbard. *Geophysical Research Letters* 31(12), L12402.
- Beniston, M., 2003. Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change* 59: 5-31.
- Bevan, S.; Luckman, A.; Murray, T.; Sykes, H. y Kohler, J., 2007. Positive mass balance during the late 20th century on Austfonna, Svalbard, revealed using satellite radar interferometry. *Annals of Glaciology* 46: 117–122.
- Brodzik, M. J.; Armstrong, R. I.; Weatherhead, E. C.; Savoie, M. H.; Knowles, W. K. y Robinson, D. A., 2006. Regional trend analysis of satellite derived snow extent and global temperature anomalies, *American Geophysical Union, Fall 2006*. San Francisco, EE. UU.
- Christensen, J. H. y Christensen, O. B., 2007. A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change* 81: 7–30.
- Clark, M. P.; Serreze, M. C. y Robinson, D. A., 1999. Atmospheric controls on Eurasian snow extent. *International Journal of Climatology* 19: 27–40.
- Comiso, J. C.; Parkinson, C.; Gersten, R. y Stock, L., 2008. Accelerated decline in the Arctic sea ice cover. *Geophysical Research Letters* 35, L01703.
- Davies, M. C. R.; Hamza, O. y Harris, C., 2001. The effect of rise in mean annual temperature on the stability of rock slopes containing ice-filled discontinuities. *Permafrost and Periglacial Processes* 12 (1): 137–144.
- Dye, D. G., 2002. Variability and trends in the annual snowcover cycle in Northern Hemisphere land areas, 1972–2000. *Hydrological Processes* 16: 3065–3077.
- Elsasser, H. y Bürki, R., 2002. Climate change as a threat to tourism in the Alps. *Climate Research* 20: 253–257.
- Falarz, M., 2002. Long-term variability in reconstructed and observed snow cover over the last 100 winter seasons in Cracow and Zakopane (southern Poland). *Climate Research* 19 (3): 247–256.
- Greene, A.M., 2005. A time constant for hemispheric glacier mass balance. *Journal of Glaciology* 51 (174): 353–362.
- Gruber, S. y Haeberli, W., 2007. Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. *Journal of Geophysical Research* 112, p. F02S18.
- Gruber, S.; King, L.; Kohl, T.; Herz, T.; Haeberli, W. y Hoelzle, M., 2004a. Interpretation of geothermal profiles perturbed by topography: the Alpine permafrost boreholes at Stockhorn Plateau, Switzerland. *Permafrost and Periglacial Processes* 15 (4): 349–357.

- Gruber, S.; Hoelzle, M. y Haeberli, W., 2004b. Permafrost thaw and destabilization of alpine rock walls in the hot summer of 2003. *Geophysical Research Letters* 31, L13504.
- Haas, C., 2004. Late-summer sea ice thickness variability in the Arctic Transpolar Drift 1991--2001 derived from ground-based electromagnetic sounding, *Geophysical Research Letters* 31, L09402, 5 pp., DOI:10.1029/ 2003GL019394.
- Haas, C.; Hendricks, S. y M. Doble., 2006. Comparison of the sea ice thickness distribution in the Lincoln Sea and adjacent Arctic Ocean in 2004 and 2005. *Annals of Glaciology* 44: 247–252.
- Haas, C.; Pfaffling, A.; Hendricks, S.; Rabenstein, L.; Etienne, J.-L. y Rigor, I., 2008. Reduced ice thickness in Arctic Transpolar Drift favors rapid ice retreat, *Geophysical Research Letters*.
- Haeberli, W.; Noetzli, J.; Zemp, M.; Baumann, S.; Frauenfelder R. y Hoelzle, M., 2005. *Glacier Mass Balance Bulletin* Nº. 8, 2002–2003. IUGG(CCS)–UNEP– UNESCO–WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich.
- Haeberli, W.; Zemp, M. y Hoelzle, M., 2007. *Glacier Mass Balance Bulletin* Nº. 9, 2004–2005. ISCU(FAGS)– IUGG(IACS)– UNEP–UNESCO–WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich.
- Hagen, J. O.; Melvold, K.; Kohler, J. y Winther, J.-G., 2003. Glaciers in Svalbard: mass balance, runoff and freshwater flux. *Polar Research* 22 (2): 145–159.
- Hanna, E.; Box, J. y Huybrechts, P., 2007. Greenland Ice Sheet mass balance. *Arctic Report Card* 2007. <http://www.arctic.noaa.gov/>.
- Hantel, M. y Hirtl-Wielke, L.-M., 2007. Sensitivity of Alpine snow cover to European temperature. *International Journal of Climatology* 27: 1265–1275.
- Harris, C.; Vonder Mühll, D.; Isaksen, K.; Haeberli, W.; Sollid, J. L.; King, L.; Holmlund, P.; Dramis, F.; Guglielmin, M. y Palacios, D., 2003. Warming permafrost in European mountains. *Global and Planetary Change* 39: 215–225.
- Holland, M.; Blitz, C. y Tremblay, B., 2006. Future abrupt reductions in the summer Arctic sea ice. *Geophysical Research Letters* 33, L23503, DOI:10.1029/ 2006GL028024.
- Hosaka, M.; Nohara, D. y Kitoh, A., 2005. Changes in snow coverage and snow water equivalent due to global warming simulated by a 20 km-mesh global atmospheric model. *Scientific Online Letters on the Atmosphere* 1: 93–96.
- Huggel, C.; Haeberli, W. y Käab, A., 2007. *Glacial hazards: changing threats, response and management in different high-mountain regions of the world*. En: B. Orlove, B. Luckman, E. Wiegandt (Eds.), *The Darkening Peaks: Glacial Retreat in Scientific and Social Context*, University of California Press.
- Hyvärinen, V., 2003. Trends and characteristics of hydrological time series in Finland. *Nordic Hydrology* 34 (1–2): 71–90.
- IPCC, 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor M. y Miller H. L. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- IPCC, 2007b *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Isaksen, K.; Sollid, J. L.; Holmlund, P. y Harris C., 2007. Recent warming of mountain permafrost in Svalbard and Scandinavia. *Journal of Geophysical Research* 112, F02S04.
- Jacob, D.; Göttel, H.; Lorenz, P., 2007. *Hochaufgelöste regionale Klimaszenarien für Deutschland, Österreich und die Schweiz*, DMG-Mitteilungen, 03/07, Berlín.
- Jylhä, K.; Fronzek, S.; Tuomenvirta, H.; Carter, T. R. y Ruosteenoja, K., 2007. Changes in frost and snow in Europe and Baltic sea ice by the end of the 21st century. *Climatic Change*, DOI 10.1007/s10584-007-9310-z.
- Kitajev, L.; Foerland, E.; Razuvaev, V.; Tveito, O. E. y Krueger, O., 2005. Distribution of snow cover over Northern Eurasia. *Nordic Hydrology* 36: 311–319.
- Kohler, J.; Brandt, O.; Johansson, M. y Callaghan, T., 2006. A long-term Arctic snow depth record from Abisko, northern Sweden, 1913–2004. *Polar Research* 25 (2): 91–113.
- Kohler, J.; James, T. D.; Murray, T.; Nuth, C.; Brandt, O.; Barrand, N. E.; Aas, H. F. y Luckman, A., 2007. Acceleration in thinning rate on western Svalbard glaciers. *Geophysical Research Letters* 34, L18502, DOI:10.1029/2007GL030681.
- Lawrence, D. M.; Slater, A. G.; Romanovsky, V. E. y Nicolsky, D. J., 2008. The sensitivity of a model projection of near-surface permafrost degradation to soil column depth and inclusion of soil organic matter, *J. Geophys. Res.*
- Meier, W. N.; Stroeve, J.; Fetterer, F.; 2007. Whither Arctic sea ice? A clear signal of decline regionally, seasonally and extending beyond the satellite record. *Annals of Glaciology* 46: 428–434.
- NSIDC (National Snow and Ice Data Center), 2007: *Arctic Sea Ice Shatters All Previous Record Lows*. http://www.nsidc.org/news/press/2007_seaiceminimum/20071001_pressrelease.html.
- Nesje, A.; Bakke, J.; Dahl, S. O.; Lie, O. y Matthews, J. A., 2008. Norwegian mountain glaciers in the past, present and future. *Global and Planetary Change* 60: 10–27.
- Nghiem, S. V.; Rigor, I. G.; Perovich, D. K; Clemente-Colon, P.; Weatherly, J. W. y Neumann, G., 2007. Rapid reduction of Arctic perennial sea ice. *Geophysical Research Letters* 34, L19504.

- Noetzli, J.; Hoelzle, M. y Haeberli, W., 2003. Mountain permafrost and recent Alpine rock-fall events: a GIS-based approach to determine critical factors. En: Phillips, M., Springman, S.M. y L.U. Arenson (eds). *8th International Conference on Permafrost*, 20–25 julio 2003, Zurich, Lisse. A. A. Balkema Publishers, Países Bajos.
- Nuth, C.; Kohler, J.; Aas, H. F.; Brandt, O. y Hagen, J. O., 2007. Glacier geometry and elevation changes on Svalbard (1936–90). *Annals of Glaciology* 46: 106–116.
- OCDE, 2007. *Climate Change in the European Alps*, OECD publishing; París, Francia.
- Paul, F.; Kääb, A.; Maisch, M.; Kellenberger, T. y Haeberli, W., 2004. Rapid disintegration of Alpine glaciers observed with satellite data. *Geophysical Research Letters* 31: L21402.
- PERMOS, 2007. *Permafrost in Switzerland 2002/2003 and 2003/2004*. Glaciological Report (Permafrost) 4(5) de la Comisión Glaciológica de la Academia Sueiza de Ciencias (SAS) y el Departamento de Geografía, Universidad de Zurich.
- Petkova, N.; Koleva, E. y Alexandrov, V., 2004. Snow cover variability and change in mountainous regions of Bulgaria, 1931–2000. *Meteorologische Zeitschrift* 13 (1): 19–23.
- Phillips, M.; Ladner, F.; Müller, M.; Sambeth, U.; Sorg, J. y Teyssie, P., 2007. Monitoring and reconstruction of a chairlift midway station in creeping permafrost terrain, Grächen, Swiss Alps. *Cold Regions Science and Technology* 47: 32–42.
- PNUMA 2007. *Global outlook for snow and ice*. UNEP Arendal/Nairobi 2007.
- PNUMA, 2008. *Meltdown in the Mountains*. Zürich/Nairobi 2008.
- Pralong, A. y Funk, M., 2005. On the instability of hanging glaciers. *Journal of Glaciology* 52 (176): 31–48.
- Rignot, E. y Kanagaratnam, P., 2006. Changes in the Velocity Structure of the Greenland Ice Sheet. *Science* 17 (311): 986–990.
- Rodríguez J. M. M. et al., 2005. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*, Edita: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid; España; 2005.
- Scherrer, S. C.; Appenzeller C. y Laternser, M., 2004. Trends in Swiss alpine snow days — the role of local and large scale climate variability. *Geophysical Research Letters* 31, L13215.
- Serreze, M.; Holland, M. y Stroeve J., 2007. Perspectives on the Arctic's Shrinking Sea-Ice Cover. *Science* 315: 1533–1536.
- Steffen, K.; Nghiem, S. V.; Huff, R. y Neumann, G., 2004. The melt anomaly of 2002 on the Greenland Ice Sheet from active and passive microwave satellite observations. *Geophysical Research Letters* 31 (20): L20402.10.1029/2004GL020444.
- Steffen, K., 2007. Presentation at AGU meeting December 2007, see <http://cires.colorado.edu/news/press/2007/07-12-10greenland.html>.
- Stroeve, J.; Holland, M.; Meier, W.; Scambos, T. y Serreze, M., 2007. Arctic sea ice decline: Faster than forecast. *Geophysical Research Letters* 34, L09501, DOI:10.1029/2007GL029703.
- Sugiyama, S.; Bauder, A.; Zahno, C. y Funk, M., 2007. Evolution of Rhonegletscher, Switzerland, over the past 125 years and in the future: application of an improved flowline model. *Annals of Glaciology* 46: 268–274.
- Thies, H.-J.; M Nickus, U.; Mair, V.; Tessadri, R.; Tait, D.; Thaler, B. y Psenner, R., 2007. Unexpected Response of High alpine Lake Waters to Climate Warming. *Environmental Science & Technology* 41: 7424–7429.
- Thomas, R.; Davis, C.; Frederick, E.; Krabill, W.; Li, Y.; Manizade, S. y Martin, C., 2008. A comparison of Greenland ice-sheet volume changes derived from altimetry measurements. *Journal of glaciology* 54 (185): 203–212.
- Truffer, M. y Fahnestock, M., 2007. Rethinking Ice Sheet Time Scales. *Science* 315 (5818): 1508–1510.
- Vojtek, M.; Faško, P. y Šťastný, P., 2003. Some selected snow climate trends in Slovakia with respect to altitude. *Acta Meteorologica Universitatis Comenianae* 32: 17–27.
- Vonder Mühll, D.; Noetzli, J.; Makowski, K. y Delaloye, R., 2007. Permafrost in Switzerland 2002/2003 and 2003/2004. *Glaciological Report (Permafrost)* No. 4/5 de la Comisión Criosférica (CC) de la Academia Suiza de Ciencias (SCNAT) y el Departamento de Geografía, Universidad de Zurich. 106 págs.
- Winton, M., 2006. Does the Arctic sea ice have a tipping point? *Geophysical Research Letters* 33.
- Witze, A., 2008. Losing Greenland. *Nature* 452: 798–802.
- Zemp, M.; Frauenfelder, R.; Haeberli, W. y Hoelzle, M., 2005. Worldwide glacier mass balance measurements: General trends and first results of the extraordinary year 2003 in Central Europe. En: Sciences R.A.o. (eds). *XIII Glaciological Symposium, Shrinkage of the Glacosphere: Facts and Analysis* 97. San Petersburgo, Rusia.
- Zemp, M.; Haeberli, W.; Hoelzle, M. y Paul, F., 2006. Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophysical Research Letters* 33: L13504.
- Zhang, T.; Barry, R. G.; Knowles, K.; Heginbottom, J.A. y Brown, J., 2000. Further statistics on the distribution of permafrost and ground ice in the Northern Hemisphere. *Polar Geography* 24: 126–131.

Sección 5.4 Biodiversidad marina y ecosistemas

ACIA, 2004. *Impacts of a warming Arctic: Arctic Climate Impact assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

- Arnell, N. W., 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14: 31–52.
- Beare, D. J.; Burns, F.; Greig, A.; Jones, E. G.; Peach, K.; Kienzie, M.; McKenzie, E. y Reid, D. G., 2004. Long-term increases in prevalence of North Sea fishes having southern biogeographic affinities. *Marine Ecology Progress Series*, 284: 269–278.
- Beare, D.; Burns, F.; Jones, E.; Peach, K. y Reid, D., 2005. Red mullet migration into the northern North Sea during late winter. *Journal of Sea Research*, 53: 205–212.
- Beaugrand, G.; Reid, P. C.; Ibañez, F.; Lindley, J. A. y Edwards, M., 2002. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science* 296: 1692–1694.
- Beugrand, G.; Brandner, K. M.; Lindley, J. A.; Souissi, S.; Reid, P. C., 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* 426: 661–664.
- Brander, K. M., 2007. Global Fish Production and Climate Change. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 104, nº 50: 19709–19714.
- Brander, K. M.; Blom, G.; Borges, M. F.; Erzini, K.; Henderson, G.; MacKenzie, B. R.; Mendes, H.; Ribeiro, J.; Santos, A. M. P. y Toresen, R., 2003. Changes in fish distribution in the eastern North Atlantic: Are we seeing a coherent response to changing temperature? *ICES Marine Science Symposia* 219: 261–270.
- Caldeira, K. y Wickett, M. E., 2003. Antropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365–365.
- Caldeira, K. y Wickett, M. E., 2005. Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean, *Journal of Geophysical Research* 110, C09S04, DOI:10.1029/ 2004JC002671.
- Cazenave, A., 2006. How fast are the ice sheets melting? *Science* 314: 1250–1252.
- Chen, J. L.; Wilson, C. R. y Tapley, B. D., 2006. Satellite gravimetry measurements confirm accelerated melting of Greenland ice sheet. *Science* 313: 1958–60.
- Church, J. A. y White, N. J., 2006. A 20th Century acceleration in global sea-level rise. En *Geophysical Research Letters* 33, L01602.
- Coetlogon, G. de; Frankignoul, C.; Bentsen, M.; Delon, C.; Haak, H.; Masina, S. y Pardaens, A., 2006. The gulf stream variability in five oceanic circulation models. *Journal of Physical Oceanography* 36 (11): 2119–2135.
- Coppini, G. y Pinardi, N., 2007. Compiled for EEA by the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) basado en conjuntos de datos ofrecidos por el Hadley Center HADISST1: <http://hadobs.metoffice.com/hadisst/data/download.html>.
- Coppini, G.; Pinardi, N.; Marullo, S. y Loewe, P., 2007. Compiled for EEA by the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) based on datasets made available by the Hadley Center. HADISST1: <http://hadobs.metoffice.com/hadisst/data/download.html>. ENEA within Mediterranean Operational Oceanography Network (MOON), y Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) within the Baltic Operational Oceanography System (BOOS).
- Cunningham, S. A.; Kanzow, T.; Rayner, D.; Baringer, M. O.; Johns, W. E.; Marotzke, J.; Longworth, H. R.; Grant, E. M.; Hirschi, J. M. M.; Beal, L. M.; Meinen, C. S. y Bryden, H. L., 2007. Temporal variability of the Atlantic meridional overturning circulation at 26.5 degrees N. *Science* 317: 935–939.
- Curry, R. y Mauritzen, C., 2005. Dilution of the Northern North Atlantic Ocean in Recent Decades. *Science* 308: 1772–1774.
- Demirov E. y Pinardi N., 2002. Simulation of the Mediterranean Sea circulation from 1979 to 1993: Part I. *The inter-annual variability. Journal of Marine Systems* 33–34: 23–50.
- Devoy, R. J. N., 2008. Coastal vulnerability and the implications of sea-level rise for Ireland. *Journal of Coastal Research* 24 (2): 325–341.
- Edwards M. y Richardson A. J., 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430: 881–884.
- Edwards, M.; Reid P. C. y Planque, B., 2001. Long-term and regional variability of phytoplankton biomass in the Northeast Atlantic (1960–1995). *ICES Journal of Marine Science* 58: 39–49.
- Edwards, M.; Woo, J. y Richardson, A. J. (en preparación). Spatial variability in marine pelagic phenology.
- Frankignoul, C. y Kestenare, E., 2005. Observed Atlantic SST Anomaly Impact on the NAO: An update. *Journal of Climate* 18: 4089–4094.
- Frederiksen, M.; Edwards, M.; Richardson, A. J.; Halliday, N. C.; Wanless, S., 2006. From plankton to top predators: bottom-up control of a marine food web across four trophic levels. *Journal of Animal Ecology* 75: 1259–1268.
- Griffies S. M. y Bryan, K., 1997. Predictability of the North Atlantic Multidecadal Variability. *Science* 275: 181–184.
- Guinehut, S. y Larnicol, G., 2008. Producido para la AEMA por Collecte Localisation Satellites (CLS). <http://www.cls.fr/>.
- Halpern, B. S.; Walbridge, S.; Selkoe, K. A.; Kappel, C. V.; Micheli, F.; D'Agrosa, C.; Bruno, J. F.; Casey, K. S.; Ebert, C.; Fox, H. E.; Fujita, R.; Heinemann, D.; Lenihan, H. S.; Madin, E. M. P.; Perry, M. T.; Selig, E. R.; Spalding, M.; Steneck, R.; Watson, R., 2008. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science* 319: 948–952.
- Hiddink, J. G. y Ter Hofstede, R., 2008. Climate Change induced increases in species richness of marine fishes. *Global Change Biology* 14: 453–460.

- Houghton, J. T.; Meira Filho, L. G.; Callander, B. A.; Harris, N.; Kattenberg, A. y Maskell, K. (eds.). 1995. *The science of climate change*. IPCC, Work. Group Rep. No. 1. Cambridge University Press, Nueva York.
- Hulme, M.; Jenkins, G.; Lu, X.; Turnpenny, J. R.; Mitchell, T. D.; Jones, R. G.; Lowe, J.; Murphy, J. M.; Hassell, D.; Boorman, P.; McDonald, R. y Hill, S., 2002. *Climate Change Scenarios for the United Kingdom*. En: The UKIP02 Scientific Report. Tyndall Centre for Climate Change Research, Universidad de East Anglia, Norwich.
- IPCC, 2001. IPCC, 2001. *Cambio climático 2001: la base científica. Contribución del Grupo de trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Houghton, J. T. et al. (eds.), Cambridge University Press, Reino Unido.
- IPCC, 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor M. y Miller H. L. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- IPCC, 2007b *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P.J. y Hanson, C.E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Johansson, M. M.; Kahma, K. K. y Bowman H., 2004. Scenarios for sea level on the Finnish coast. *Boreal Environment Research* 9: 153–166.
- Katsman, C. A.; Hazeleger, W.; Drijfhout, S. S.; van Oldenborgh, G. J. y Burgers, G. J. H., 2007. *Climate scenarios of sea level rise for the northeast Atlantic Ocean: a study including the effects of ocean dynamics and gravity changes induced by ice melt*, Kluwer Academic publishers, Países Bajos.
- Keenlyside, N. S.; Latif, M.; Jungclaus, J.; Kornblueh, L. y Roeckner, E. 2008. Advancing decadal-scale climate prediction in the North Atlantic sector. *Nature* 453: 84–88.
- Key, R. M.; Kozyr, A.; Sabine, C. L.; Lee, K.; Wanninkhof, R.; Bullister, J. L.; Feely, R. A.; Millero, F. J.; Mordy, C. y Peng, T. H., 2004. A global ocean carbon climatology: Results from Global Data Analysis Project (GLODAP). *Global Biogeochemical Cycles* 18 (4): 1–23.
- Kundzewicz, Z. W.; Parry, M.; Cramer, W.; Holten, J. I.; Kaczmarek, Z.; Martens, P.; Nicholls, R. J.; Oquist, M.; Rounsevell, M. D. A. y Szolgay, J. 2001. Europe. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 641–692.
- Levitus, S.; Antonov, J. I.; Boyer, T. P.; Stephens, C., 2000. Warming of the world ocean. *Science* 287: 2225–2229.
- Lindley, J. A., 1987. Continuous Plankton Records: the geographical distributions and seasonal cycles of decapod crustacean larvae and pelagic post-larvae in the North-eastern Atlantic Ocean and the North Sea, 1981–83. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 67: 145–150.
- Liu, Z.; Vavrus, S.; He, F.; Wen, N. y Zhong, Y., 2005. Rethinking Tropical Ocean Response to Global Warming: The Enhanced Equatorial Warming. *Journal of Climate* 18: 4684–4700.
- MacKenzie, B. R., Gislason, H., Möllmann, C., y Köster, F. W. 2007. Impact of 21st century climate change on the Baltic Sea fish community and fisheries. *Global Change Biology*, 13: 1–20.
- Meehl, G. A.; Stocker, T. F.; Collins, W. D.; Friedlingstein, P.; Gaye, A. T.; Gregory, J. M.; Kitoh, A.; Knutti, R.; Murphy, J. M.; Noda, A.; Raper, S. C. B.; Watterson, I. G.; Weaver, A. J. y Zhao, Z.-C., 2007. Global Climate Projections. En: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. y Miller, H. L. (eds). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EE. UU.
- Meier, H. E. M.; Broman, B. y Kjellström, E., 2004. Simulated sea level in past and future climates of the Baltic Sea. *Climate Research* 27: 59–75.
- Meier H. E. M.; Kjellström E. y Graham L. P., 2006a. Estimating uncertainties of projected Baltic Sea salinity in the late 21th century. *Geophysical Research Letters* 33, L15705, DOI:10.1029/2006GL026488.
- Meier, H. E. M.; Broman, B.; Kallio, H. y Kjellström, E., 2006b. Projections of future surface winds, sea levels, and wind waves in the late 21st Century and their application for impact studies of flood prone areas in the Baltic Sea region. En: Schmidt-Thomé, P. (ed): *Sea level change affecting the spatial development of the Baltic Sea region*, Geological Survey of Finland, *Special Paper* 41: 23–43.
- Nerem, R. S.; Leuliette, E. y Cazenave, A., 2006. Present-day sea-level change: A review. *Comptes Rendus Geoscience* 338: 1077–1083.
- Nicholls, M.; Oquist, M. D.; Rounsevell, A. y Szolgay, J., 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, University Press, Cambridge, págs. 641–692.
- Nicholls, R. J., 2004. Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14: 69–86.
- Nicholls, R. J. y de la Vega-Leinert, A. C. (eds.), 2007. Implications of sea-level rise for Europe's coasts. *Journal of Coastal Research*. Special issue.

- Nicholls, R. J. y Tol, R. S. J., 2006. Impacts and responses to sea-level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A* 364: 1073–1095.
- Novotny, K. y Groh, A., 2007. Untersuchung von Pegelreihen zur Bestimmung der Änderung des mittleren Meeresspiegels an den europäischen Küsten; Universidad Técnica de Dresden; *Informe interno preparado para la Agencia Federal de Medio Ambiente de Alemania (UBA)*.
- Orr, J. C.; Fabry, V. J.; Aumont, O.; Bopp, L.; Doney, S. C.; Feely, R. A. et al., 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437: 681–686.
- Pearson, P. N. y Palmer, M. R., 1999. Middle Eocene Seawater pH and Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations. *Science* 284: 1824–1826.
- Perry, A. L.; Low, P. J.; Ellis, J. R. y Reynolds, J. D., 2005. Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes. *Science* 308: 1912–1915.
- PNUMA, 2007. *Global Outlook for Ice & Snow*; UNEP/GRID-Arendal, 2007.
- Quero, J.-C.; Du Buit, M.-H. y Vayne, J.-J., 1998. Les observations de poissons tropicaux et le réchauffement des eaux dans l'Atlantique européen. *Océanologica Acta* 21: 345–351.
- Rahmstorf, S., 2007. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315: 367–370.
- Rahmstorf, S.; Cazenave, A.; Church, J. A.; Hansen, J. E.; Keeling, R.; Parker, D. E. y Somerville, R. C. J., 2007. Recent climate observations compared to projections. *Science* 316: 709.
- Rayner, N. A.; Brohan, P.; Parker, D. E.; Folland, C. K.; Kennedy, J. J.; Vanicek, M.; Ansell, T. J.; Tett, S. F. B., 2006. Improved analyses of changes and uncertainties in sea surface temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: The HadSST2 dataset. *Journal of Climate* 19(3): 446–469.
- Reid, P. C.; Edwards, M.; Hunt, H. G. y Warner, A. J., 1998. Phytoplankton change in the North Atlantic. *Nature* 391: 546.
- Rignot, E. y Kanagaratnam, P. 2006. Changes in the velocity structure of the Greenland Ice Sheet. *Science* 311: 986–990.
- Stebbing, A. R. D.; Turk, S. M. T.; Wheeler, A. y Clarke, K. R., 2002. Immigration of southern fish species to the southwest of England linked to warming of the North Atlantic (1960–2001). *Journal of the Marine Biological Association* 82: 177–180. Reino Unido.
- Stouffer R. J., 2004. Time scales of climate response. *Journal of Climate* 17: 209–217.
- Teal L.R.; de Leeuw J.J.; van der Veer H.W. et al., 2008. Effects of climate change on growth of 0-group sole and plaice. *Marine Ecology-progress Series*, Volumen 358: 219–230.
- Tsimplis, M. N.; Woolf, D. K.; Osbourn, T. J.; Wakelin, S.; Wolf, J.; Flather, R.; Woodworth, P.; Shaw, A. G. P.; Challenor, P. y Yan, Z., 2004. Future changes of sea level and wave heights at the northern European coasts. *Geophysical Research Abstracts* 6: 00332.
- Watterson, I. G., 2003. Effects of a dynamic ocean on simulated climate sensitivity to greenhouse gases. *Climate Dynamics* 21: 197–209.
- Woodworth, P. L.; Gregory, J. M. y Nicholls, R. J. 2005. *Long term sea level changes and their impacts*. En: Robinson A.R. y Brink, K.H. (eds). *The global coastal ocean: multiscale interdisciplinary processes*. Cambridge, Massachusetts, EE.UU. págs. 715–753.
- Xu, Y.; Zhao, Z.-C.; Luo, Y. y Gao, X., 2005. Climate change projections for the 21st century by the NCC/IAP T63 with SRES scenarios. *Acta Meteorologica Sinica* 19: 407–417.

Sección 5.5 *Cantidad de agua, crecida de los ríos y ecosistemas*

AEMA, 2007. *El medio ambiente en Europa – cuarta evaluación*. Informe de la AEMA Nº 1/2007, Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhagen.

Alcamo, J.; Döll, P.; Henrichs, T.; Kaspar, F.; Lehner, B.; Röscher, T. y Siebert, S., 2003. Global estimates of water withdrawals and availability under current and future business-as-usual conditions. *Hydrological Sciences Journal* 48: 339–348.

Alcamo, J.; Flörke, M. y Märker, M., 2007. Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic change. *Hydrological Sciences Journal* 52: 247–275.

Andréasson, J.; Bergström, S.; Carlsson, B.; Graham, L.P. y Lindström, G., 2004. Hydrological change — climate change impact simulation for Sweden. *Ambio* 33: 228–234.

Arnell, N. W., 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14: 31–52.

Barnett, T. P.; Adam, J. C. y Lettenmaier, D. P., 2005. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature* 438: 303–309.

Barnolas, M. y Llasat, M. C., 2007. A flood geodatabase and its climatological implications: the case of Catalonia for the last century. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7: 271–281.

Becker, A. y Grunewald, U., 2003. Disaster management — flood risk in Central Europe. *Science* 300 (5622): 1099–1099.

- Birsan, M. V.; Molnar, P.; Burlando, P. y Pfaundler, M., 2005. Streamflow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology* 314: 312–329.
- Brázdil, R.; Kotyza, O. y Dobrovolný, P. 2006. July 1432 and August 2002 — two millennial floods in Bohemia? *Hydrological Sciences Journal* 51 (5): 848–863.
- Christensen O. B. y Christensen, J. H., 2003. Severe summertime flooding in Europe. *Nature* 421: 805–806.
- Cyberski, J.; Grześ, M.; Gutry-Korycka, M.; Nachlik, E. y Kundzewicz, Z., 2006. History of floods on the River Vistula. *Hydrological Sciences Journal* 51 (5): 799–817.
- Dankers, R.; Feyen, L., 2008a. Climate change impacts on river flow in Europe (manuscrito en preparación).
- Dankers, R.; Feyen, L., 2008b. Climate change impact on flood hazard in Europe: An assessment based on high resolution climate simulations. Manuscrito enviado al Journal of Geophysical Research Atmospheres.
- Dixon, H.; Lawler, D. M. y Shamseldin, A. Y., 2006. Streamflow trends in western Britain. *Geophysical Research Letters* 23: L19406, DOI:10.1029/2006GL027325.
- Douville, H.; Chauvin, F.; Planton, S.; Royer, J.F.; Salas-Melia, D. y S. Tyteca, S., 2002. Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gasses and aerosols. *Climate Dynamics* 20: 45–68.
- Döll, P., 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic Change* 54: 269–293.
- Feyen, L. y Dankers, R., 2008. River flow drought in Europe in a future climate. Manuscrito enviado a Global Environmental Change.
- Glaser, R. y Stangl, H., 2003. Historical floods in the Dutch Rhine Delta. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3: 605–613.
- Hanneford J. y Marsh, T., 2006. An assessment of trends in UK runoff and low flows using a network of undisturbed catchments. *International Journal of Climatology* 26: 1237–1253.
- Hisdal, H.; Stahl, K.; Tallaksen, L. M. y Demuth, S., 2001. Have droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology* 21: 317–333.
- Hisdal, H.; Holmqvist, E.; Kuusisto, E.; Lindström, G. y Roald, L. A., 2007. Has streamflow changed in the Nordic countries? *Climate Research*, enviado.
- Jasper, K.; Calanca, P.; Gyalistras, D. y Fuhrer, J., 2004. Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine rivers. *Climate Research* 26: 113–125.
- Kay, A.; Reynard, N. S. y Jones, R. N., 2006. RCM rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. *Journal of Hydrology* 318: 163–172.
- Kundzewicz, Z. W.; Radziejewski, M. y Pińskwar, I., 2006. Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Climate Research* 31: 51–58.
- Kundzewicz, Z. W.; Graczyk D.; Maurer T.; Pińskwar I.; Radziejewski M.; Svensson C.; Szwed M., 2005. Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow. *Hydrological Sciences Journal* 50 (5): 797–810.
- Kundzewicz, Z. W.; Budhakooncharoen, S.; Bronstert, A.; Hoff, H.; Lettenmaier, D.; Menzel, L. y Schulze, R., 2002. Coping with variability and change: floods and droughts. *Natural Hazards Forum* 26: 263–274.
- Lang, M.; Renard, B.; Sauquet, E.; Bois, P.; Dupeyrat, A.; Laurent, C.; Mestre, O.; Niel, H.; Neppel, L. y Gailhard, J., 2006. *Climate Variability and Change — Hydrological Impacts*. IAHS Publ. 308.
- Lehner B.; Döll P.; Alcamo J.; Henrichs T. y Kaspar F., 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental integrated analysis. *Climatic Change* 75: 273–299.
- Lindström, G. y Bergström, S., 2004. Runoff trends in Sweden 1807–2002. *Hydrological Sciences Journal* 49 (1): 69–83.
- Macklin, M. G. y Rumsby, B. T., 2007. Changing climate and extreme floods in the British Uplands. *Transactions of the Institute of British Geographers* 32 (2): 168–186.
- Milly, P. C. D.; Dunne, K. A. y Vecchia, A. V., 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature* 438: 347–350.
- Milly, P. C. D.; Wetherald, R. T.; Dunne, K. A. y Delworth, T. L., 2002. Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature* 415: 514–517.
- Mudelsee, M.; Börngen, M.; Tetzlaff, G. y Grünwald, U., 2003. No upward trends in the occurrence of extreme floods in Central Europe. *Nature* 425: 166–169.
- Palmer, T. N. y Räisänen, J., 2002. Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature* 415: 512–514.
- Pinter, N.; Ickes, B. S.; Wlosinski J. H. y van der Ploeg, R. R., 2006. Trends in flood stages: Contrasting results from the Mississippi and Rhine River systems. *Journal of Hydrology* 331: 554–566.
- PNUMA, 2006. *Geo Year Book 2006*. An overview of our changing environment.
- Ramos, C. y Reis, E., 2002. Floods in Southern Portugal: their physical and human causes, impacts and human response.

Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 7: 267–284.

Robson, A., 2002. Evidence for trends in UK flooding. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 360: 1327–1343.

Schröter, D.; Cramer, W.; Leemans, R.; Prentice, C.; Araújo, M. B.; Arnell, N. W.; Bondeau, A.; Bugmann, H.; Carter, T. R.; Gracia, C. A.; de la Vega-Leinert, A. C.; Erhard, M.; Ewert, F.; Glendining, M.; House, J. I.; Kankaanpää, S.; Klein, R. J. T.; Lavorel, S.; Lindner, M.; Metzger, M. J.; Meyer, J.; Mitchell, T. D.; Reginster, I.; Rounsevell, M.; Sabaté, S.; Sitch, S.; Smith, B.; Smith, J.; Smith, P.; Sykes, M. T.; Thonicke, K.; Thuiller, W.; Tuck, G.; Zaehle, S. y Zierl, B., 2005. Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. *Science* 310 (5752): 1333–1337.

Stuyfzand P. J.; Ruediger, R. L y Kristensen, P., 2007. *Impact of climate change on groundwater*. Una nota de antecedentes para la AEMA producida por CTE/AC de la AEMA.

Svensson, C.; Kundzewicz W. Z.; Maurer, T., 2005. Trend detection in river flow series: 2. Flood and low-flow index series. *Hydrological Sciences Journal*. 50: 811–824.

Wade, S.; Vidal, J.-P.; Dabrowski, C.; Young, P. y Romanowicz, R., 2005. *Effect of climate change on river flows and groundwater recharge. A practical methodology. Trends in UK river flows: 1970–2002*. UKWIR Report 05/CL/04/5.

van der Schrier, G.; Briffa, K. R.; Jones, P. D. y Osborn T. J., 2006. Summer moisture availability across Europe. *Journal of Climate* 19: 2818–2834.

Wang, W.; Van Gelder, P. H. A. J. M. y Vrijling, J. K., 2005. Detection of changes in streamflow series in western Europe over 1901–2000. *Water Science and Technology: Water Supply* 5 (6): 289–299.

Werritty, A., 2002. Living with uncertainty: climate change, river flows and water resource management in Scotland. *The Science of the Total Environment* 294: 29–40.

Sección 5.6 Calidad del agua dulce y biodiversidad

Adrian, R.; Wilhelm, S. y Gerten, D., 2006. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming. *Global Change Biology* 12: 652–661.

Ambrosetti, W. y Barbanti, L., 1999. Deep water warming in lakes: an indicator of climate change. *Journal of Limnology* 58: 1–9.

Anneville, O.; Gammeter, S. y Straile, D., 2005. Phosphorus decrease and climate variability: mediators of synchroNueva York in phytoplankton changes among European peri-alpine lakes. *Freshwater Biology* 50: 1731–1746.

Barica, J. y Mathias, J. A., 1979. Oxygen depletion and winterkill risk in small prairie lakes under extended ice cover. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 36: 980–986.

Battarbee, R.; Kernan, M.; Livingstone, D. M.; Nickus, U.; Verdonschot, P.; Hering, D.; Moss, B.; Wright, R. F.; Evans, C. D.; Grimalt, J. O.; Johnson, R.; Maltby, E.; Linstead, C. y Skeffington, R. A., 2008. Freshwater Ecosystem Responses to Climate Change: the Euro-limpacs project.

Benson, B. y Magnuson, J., 2000 (actualizado en 2006). Global lake and river ice phenology database. En: Boulder, C.O., National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. Bauernfeind, E. y U.H. Humpesch 2001. Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera) Bestimmung und Ökologie. Verlag des Naturhistorischen Museums, Viena, Austria.

Biodiversity Indicators, 2006. Climate Change: Trend of Southern European dragonfly species. Research Institute for Nature and Forest, Bruselas. www.natuurindicatoren.be (actualizado el 08.05.2006). Disponible en www.natuurindicatoren.be/indicatorenportal.cgi?lang=en&detail=404&id_structuur=25.

Burgmer, T.; Hillebrand, H. y Pfenninger, M., 2007. Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia* 151: 93–103.

BUWAL, BWG, MeteoSchweiz, 2004. Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369. Bern-Ittigen: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, pág. 174.

Dabrowski, M.; Marszelewski, W.; y Skowron, R., 2004. The trends and dependencies between air and water temperatures in lakes in northern Poland from 1961–2000. *Hydrology and Earth System Sciences* 8: 79–87.

Daufresne, M.; Bady, P. y Fruget, J. F., 2007. Impacts of global changes and extreme hydroclimatic events on macroinvertebrate community structures in the French Rhone River. *Oecologia* 151: 544–559.

Daufresne, M.; Roger, M. C.; Capra, H. y Lamouroux, N., 2004. Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhone River: effects of climatic factors. *Global Change Biology* 10: 124–140.

Dokulil, M. T.; Jagsch, A.; George, G. D.; Anneville, O.; Jankowski, T.; Wahl, B.; Lenhart, B.; Blenckner, T. y Teubner, K., 2006. Twenty years of spatially coherent deepwater warming in lakes across Europe related to the North Atlantic Oscillation. *Limnology and Oceanography* 51: 2787–2793.

Dyble J.; Paerl, H. W. y Neilan, B. A., 2002. Genetic characterization of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) isolates from diverse geographic origins based on nifH and cpcBA-IGS nucleotide sequence analysis. *Applied Environmental Microbiology* 68: 2567–2571.

Instituto de Meteorología e Hidrología de Estonia, mediciones de la temperatura del agua, período Võrtsjärv 1947–2006 (sin publicar). Véase también Nöges y Järvet, 2005.

- Findlay, D. L.; Paterson, J. J.; Hendzel, L. L. y Kling, H. J., 2005. Factors influencing *Gonyostomum* semen blooms in a small boreal reservoir lake. *Hydrobiologia* 533: 243–252.
- Franssen H. J. Hendricks y Scherrer S. C., 2008. Freezing of lakes on the Swiss plateau in the period 1901–2006. *International Journal of Climatology* 28 (4): 421–433.
- George, G.; Hewitt, D.; Jennings, E.; Allott, N. y McGinnity, P., 2005. The impact of changes in the weather on the surface temperatures of Windermere (UK) and Lough Feeagh (Ireland) En: Lobo Ferreira, J. P. y Vieira J. M. P. (eds). *Proceedings of the Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources*, Guimaraes, Portugal. Lisboa. <http://www.aprh.pt/celtico/TEXT/papers.html>.
- George G.; Hurley M. y Hewitt D., 2007. The impact of climate change on the physical characteristics of the larger lakes in the English Lake District. *Freshwater Biology* 52: 1647–1666.
- George, D. G. y Hurley, M. A., 2004. The influence of sampling frequency on the detection of long-term change in three lakes in the English Lake District. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 7: 1–14.
- Greenbank, J., 1945. Limnological conditions in ice-covered lakes, especially related to winterkill of fish. *Ecological Monographs* 15: 343–392.
- Grimalt, J. O.; Fernández, P.; Berdié, L.; Vilanova, R. M.; Catalan, J.; Psenner, R.; Hofer, R.; Appleby, P. G., Rosseland, B. O.; Lien L.; Massabau J. C. y Battarbee, R. W., 2001. Selective trapping of organochlorine compounds in mountain lakes of temperate areas. *Environmental Science & Technology* 35: 2690–2697.
- Hari, R. E.; Livingstone, D. M.; Siber, R.; Burkhardt-Holm, P. y Guttinger, H., 2006. Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biology* 12: 10–26.
- Hassall, C.; Thompson, D. J.; French, G. C. y Harvey, I. F., 2007. Historical changes in the phenology of British Odonata are related to climate. *Global Change Biology* 13: 933–941.
- Hering et al., 2006. Evaluation of Trichoptera data in relation to climatic gradients. Deliverable No. 190 from the Eurolimpacs European Research Project. http://www.eurolimpacs.ucl.ac.uk/oldsite/docstore/Deliverable_190.pdf.
- Hickling, R.; Roy, D. B.; Hill, J. K. y Thomas, C. D., 2005. A northward shift of range margins in British Odonata. *Global Change Biology* 11 (3): 502–506.
- Hohensinner, S.; Haidvogel, G.; Jungwirth, M., 2006. Natural landscape dynamics and human interferences: the Danube river landscape in the Austrian Machland 1715–1991. Rivers Run Through Them. Landscapes in Environmental History. *Annual Meeting of the American Society for Environmental History*, 29.3.–1.4.2006, St. Paul, Minnesota, EE. UU.
- IPCC, 2007: Summary for Policymakers. En: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- IPCC, 2008. Technical paper on climate change and water. Available at www.ipcc.ch/meetings/session28/doc13.pdf.
- Jackson, L. J.; Lauridsen, T. L.; Søndergaard, M. y Jeppesen, E., 2007. A comparison of shallow Danish and Canadian lakes and implications of climate change. *Freshwater Biology* 52: 1782–1792.
- Järvinen, M.; Rask, M.; Ruuhijärvi, J. y Arvola, L., 2002. Temporal coherence in water temperature and chemistry under the ice of boreal lakes (Finland). *Water Research* 36: 3949–3956.
- Jöhnk, K. D.; Huisman, J.; Sharples, J.; Sommeijer, B.; Visser, P. M. y Stroom, J. M., 2008. Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology* 14: 495–512.
- Kerr, R. A., 1999. The Little Ice Age — only the latest big chill. *Science* 248: 2069. DOI: 10.1126/ Science.284.5423.2069.
- Kolar, C. S. y Lodge, D. M., 2000. Freshwater Nonindigenous Species: Interactions with Other Global Changes. En: Mooney, H.A. y Hobbs, R. (eds). *Invasive Species in a Changing World*. Island Press, Washington, 3–30.
- Korhonen, J., 2002. Water temperature conditions of lakes and rivers in Finland in the 20th century (en finés). *Suomen Ympäristö* 566: 1–115.
- Korhonen J., 2006. Long-term changes in lake ice cover in Finland. *Nordic Hydrology* 37: 347–363.
- Leppäranta, M.; Reinart, A.; Erm, A.; Arst, H.; Hussainov, M. y Sipelgas, L., 2003. Investigation of ice and water properties and under-ice light fields in fresh and brackish water bodies, *Nordic Hydrology* 34: 245–266.
- Livingstone, D. M., 1993. Lake oxygenation: Application of a one-box model with ice cover. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 78: 465–480.
- Livingstone, D. M., 1997. Break-up dates of Alpine lakes as proxy data for local and regional mean surface air temperatures. *Climatic Change* 37: 407–439.
- Livingstone, D. M., 2003. Impact of secular climate change on the thermal structure of a large temperate central European lake. *Climatic Change* 57: 205–225.
- Livingstone, D. M. y Adrian, R., 2007. Modeling the duration of intermittent ice cover on a lake for climate-change studies. *Limnology and Oceanography* (enviado).
- Magnuson, J. J.; Robertson, D. M.; Benson, B. J.; Wynne, R. H.; Livingstone, D. M.; Arai, T.; Assel, R. A.; Barry, R. G.; Card, V.; Kuusisto, E.; Granin, N. G.; Prowse, T. D.; Stewart K. M. y Vuglinski, V. S., 2000a. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science* 289: 1743–1746.

- Malmaeus, J. M.; Blenckner, T.; Markensten, H. y Persson, I., 2006. Lake phosphorus dynamics and climate warming: A mechanistic model approach. *Ecological Modelling* 190: 1–14.
- Manca, M.; Portogallo, M.; Brown, M. E., 2007: Shifts in phenology of *Bythotrephes longimanus* and its modern success in Lake Maggiore as a result of changes in climate and trophic. *Journal of Plankton Research*, 29 (6): 515–525.
- MNP, 2006. The effects of climate change in the Netherlands. (Bresser *et al.* (eds) Informe de MNP disponible en <http://www.mnp.nl/en/publications/2006/TheeffectsofclimatechangeintheNetherlands.html>.
- Mooij, W. M.; Hülsmann, S.; Domis, L. N. D.; Nolet, B. A.; Bodelier, P. L. E.; Boers, P. C. M.; Pires, L. M. D.; Gons, H. J.; Ibelings, B. W.; Noordhuis, R.; Portielje, R.; Wolfstein, K. y Lammens, E. H. R. R., 2005. The impact of climate change on lakes in The Netherlands: a review. *Aquatic Ecology* 39 (4): 381–400.
- Nöges *et al.* The impact of variations in the climate on seasonal dynamics of phytoplankton. Ch. 14 in: D. G. George (ed.) The impact of climate change on European lakes. Springer.
- Palecki, M. A. y Barry, R. G., 1986. Freeze-up and break-up of lakes as an index of temperature changes during the transition seasons: a case study for Finland. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25: 893–902.
- Pernaravičiūtė, B., 2004. The impact of climate change on thermal regime of Lithuanian lakes. *Ekologija* 2: 58–63.
- Phillips, K. A. y Fawley, M. W., 2002. Winter phytoplankton blooms under ice associated with elevated oxygen levels. *Journal of Phycology* 38: 1068–1073.
- Rijkswaterstaat, measurements Rhine River at Lobith period 1908–2006 (inédito). Véase también MNP, 2006.
- Rodhe, W., 1955. Can phytoplankton production proceed during winter darkness in subarctic lakes? *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 12: 117–122.
- Schindler, D. W., 2001. The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 18–29.
- Stewart, K. M., 1976. Oxygen deficits, clarity and eutrophication in some Madison lakes. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 61: 563–579.
- Svensson C.; Hannaford J.; Kundzewicz, Z. W. y Marsh, T., 2006: Trends in river floods: why is there no clear signal in observations? *Frontiers in Flood Research — IAHS Proceedings & Reports*.
- Walsh, C. L. y Kilsby, C. G., 2006. Potential impacts of climate change on Atlantic salmon: case study in the Eden catchment, Cumbria, Reino Unido. *Hydrology and Earth System Sciences*. En imprenta (resumen).
- Weyhenmeyer, G. A.; Blenckner, T. y Pettersson, K., 1999. Changes of the plankton spring outburst related to the North Atlantic Oscillation. *Limnology and Oceanography* 44: 1788–1792.
- Weyhenmeyer, G. A., 2001. Warmer winters — are planktonic algal populations in Sweden's largest lakes affected? *Ambio* 30: 565–571.
- Weyhenmeyer, G. A.; Meili, M. y Livingstone, D. M., 2004. Nonlinear temperature response of lake ice breakup. *Geophysical Research Letters* 31 (7): L07203, DOI:10.1029/2004GL019530.
- Weyhenmeyer, G. A., 2007. Water chemical changes along a latitudinal gradient in relation to climate and atmospheric deposition. *Climate change* 88 (2): 199–208.
- Wilhelm, S. y Adrian, R., 2008. Impact of summer warming on the thermal characteristics of a polymictic lake and consequences for oxygen, nutrients and phytoplankton. *Freshwater Biology* 53 (2): 226–237.

Sección 5.7 Ecosistemas terrestres y biodiversidad

- Araújo, M. B. y Luoto, M., 2007. The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global ecology and biogeography* 16: 743–753.
- Araújo, M. B.; Thuiller, W. y Pearson, R. G., 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography* 33: 1712–1728.
- Bakkenes, M.; Eickhout, B. y Alkemade, R., 2006. Impacts of different climate stabilisation scenarios on plants species in Europe. *Global Environmental Change* 16: 19–28.
- Bakkenes, M., 2007. Producido para la AEMA por la Agencia de Evaluación Medioambiental de los Países Bajos (PBL), en base a datos del proyecto ALARM (<http://www.alarmproject.net.ufz.de>).
- Bale, J. S. Masters; G. J., Hodkinson, I. D. et al., 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperatures on insect herbivores. *Global Change Biology* 8: 1–16.
- Biesmeijer, J. C.; Roberts, S. P. M.; Reemer, M.; Ohlemüller, R.; Edwards, M.; Peeters, T.; Schaffers, A. P.; Potts, S. G.; Kleukers, R.; Thomas, C. D.; Settele, J. y Kunin, W. E., 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313: 351–354.
- Both, C. y Marvelde, L., 2007. Climate change and timing of avian breeding and migration throughout Europe. *Climate Research* 35: 93–105.

- Both, C., Bouwhuis, S., Lessells, C. M., y Visser, M. E., 2006. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441: 81–83.
- Cannon, R. J. C., 1998. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. *Global Change Biology* 4: 785–796.
- CEH, Morton Frederiksen, 2005. Citado en 'A warm unwelcome', de Audrey Schulman. <http://www.grist.org/news/maindish/2005/01/25/schulman-seabirds/>.
- Consejo Nórdico, 2005. Conservation of Nordic Nature in a Changing Climate. Consejo Nórdico de Ministros, Copenhagen.
- Crick, H. Q. P. y Sparks T. H., 1999. Climate change related to egg-laying trends. *Nature* 399: 423–424.
- DEFRA, 2007. Conserving biodiversity in a changing climate: guidance on building capacity to adapt. DEFRA, Reino Unido.
- Díaz, S.; Fargione, J.; Stuart Chapin III, F. y Tilman, D., 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *PloS Biology* 4 (8): e277. DOI: 10.1371/journal.pbio.0040277.
- Evaluación de Ecosistemas del Milenio. 2005. www.millenniumassessment.org.
- Fitter, A. H. y Fitter, R. S. R., 2002. Rapid Changes in Flowering Time in British Plants. *Science* 296: 1689–1691.
- Gitay, H.; Suarez, A.; Watson, R. T. y Dokken, D. J., 2002. *Climate change and biodiversity*; IPCC Technical paper 5, abril 2002, 77 págs.
- Gregory, R. D.; Willis, S. G.; Jiguet, F.; Voříšek, P.; Klvaňová, A.; van Strien, A.; Huntley, B.; Collingham, Y. C.; Couvet, D. y Green, R. E., 2008. An indicator of the impact of climatic change on European bird populations (en imprenta).
- Hickling, R.; Roy, D. B.; Hill, J. K.; Fox, R. y Thomas, C. D., 2006. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology* 12: 450–455.
- Høye, T. T.; Post, E.; Meltofte, H.; Schmidt, N. M. y Forchhammer, M. C., 2007. Rapid advancement of spring in the high Arctic. *Current Biology* 17 (12): 449–451.
- Huntley, B., 2007. *Climatic change and the conservation of European biodiversity: Towards the development of adaptation strategies*. Comité Permanente del Convenio de Berna sobre el Cambio Climático. Consejo de Europa, Estrasburgo.
- Huntley, B. et al., 2008. *A Climatic Atlas of European Breeding Birds*. Barcelona: Lynx Edicions.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Kullman, L., 2006. Long-term geobotanical observations of climate change impacts in the Scandes of West-Central Sweden. *Nordic Journal of Botany* 24: 445–467. Copenhagen.
- Kullman, L., 2007. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology. *Journal of Ecology* 95: 41–52.
- Lemoine N.; Schaefer, H. C. y Böhning-Gaese, K., 2007. Species richness of migratory birds is influenced by global climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16 (1): 55–64.
- Levinsky, I.; Skov, F.; Svenning, J. y Rahbek, C., 2007. Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals. *Biodiversity and Conservation* 16 (13): 3803–3816.
- Lovejoy, T. y Hannah, L., 2005. Climate change and biodiversity. Yale University Press. Londres, Reino Unido.
- McKinney, M. L. y Lockwood, J. L., 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 450–453.
- Menzel, A.; Sparks, T. H.; Estrella, N.; Koch, E.; Aasa, A.; Ahas, R.; Alm-Kübler, K.; Bissolli, P.; Braslavská, O.; Briede, A.; Chmielewski, F. M.; Crepinsek, Z.; Curnel, Y.; Dahl, Å.; Defila, C.; Donnelly, A.; Filella, I.; Jatczak, K.; Måge, F.; Mestre, A.; Nordli, Ø.; Peñuela, J.; Pirinen, P.; Remišová, V.; Scheinfinger, H.; Stříž, M.; Susnik, A.; Van Vliet, A. J. H.; Wiegolaski, F.-E.; Zach, S.; Zust, A., 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12: 1969–1976.
- Nature's Calendar, Reino Unido. www.naturescalendar.org.uk/climate+change/past.htm.
- Ott, J., 2007. The expansion of *Crocothemis erythraea* (Brullé, 1832) in Germany — an indicator of climatic changes. *Odonata: Biology of Dragonflies*. Tyagi, B.K. (ed.) *Scientific Publishers* (India) págs. 201–222.
- Parmesan, C. y Yohe, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.
- Parmesan, C.; Ryrholm, N.; Stefanescu, C.; Hill, J. K.; Thomas, C. D.; Descimon, H.; Huntley, B.; Kaila, L.; Kullberg, J.; Tammaru, T.; Tennent, W. J.; Thomas, J. A. y Warren, M., 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579–83.
- Pauli, H.; Gottfried, M.; Reiter, K.; Klettner, C. y Grabherr, G., 2007. Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994–2004) at the

- GLORIA master site Schrankogel, Tirol, Austria . *Global Change Biology* 13, 147–156.
- Reading, C. J., 2007. Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*, 151: 125–131.
- Reid, W. V. *et al.*, 2005. Ecosystems and human well-being: Synthesis, and Policy Responses. Island Press, Washington, DC.
- Root, T. L.; Price, J. T.; Hall, K. R.; Schneider, S. H.; Rosenzweig, C.; Pounds, J. A., 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60.
- Schweiger, O.; Settele, J.; Kudrna, O.; Klotz, S. y Kühn, I., 2008. Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. *Ecology* (en imprenta).
- Settele, J.; Hammen, V. C.; Hulme, P. E.; Karlson, U.; Klotz, S.; Kotarac, M.; Kunin, W. E.; Marion, G.; O'Connor, M.; Petanidou, T.; Peterson, K.; Potts, S. G.; Pritchard, H.; Pysek, P.; Rounsevell, M.; Spangenberg, J.; Steffan-Dewenter, I.; Sykes, M. T.; Vighi, M.; Zobel, M. y Kuhn, I., 2005. ALARM: Assessing large scale risks for biodiversity with tested methods. *GAIA — Ecological Perspectives in Science, Humanities and Economics* 14: 96–72.
- Sobrino Vesperinas, E.; González Moreno, A.; Sanz Elorza, M.; Dana Sánchez, E.; Sánchez Mata, D. y Gavilán, R., 2001. The expansion of thermophilic plants in the Iberian Peninsula as a sign of climatic change. 'Fingerprints' of climate change — adapted behaviour and shifting species ranges (ed. de Walther, G.-R.; Burga, C. A. y Edwards, P. J.), págs. 163–184. Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York.
- Spangenberg, J. H., 2007. Integrated scenarios for assessing biodiversity risks. *Sustainable Development* 15 (6): 343–356.
- Sparks, T. H.; Dennis, R. L. H.; Croxton, P. J.; Cade, M.; 2007. Increased migration of Lepidoptera linked to climate change. *European Journal of Entomology* 104: 139–143.
- Thuiller, W.; Lavorel, S.; Araújo, M. B.; Sykesand, M. T. y Prentice, I. C., 2005. Climate change threatens plant diversity in Europe. *The Proceedings of the National Academy of Sciences* US 102: 8245–8250.
- UKCIP, 2005. Reino Unido Climate Impacts Programme. <http://www.ukcip.org.uk>.
- van Vliet, A., 2008. *Monitoring, analysing, forecasting and communicating phenological changes*. Tesis doctoral. Universidad de Wageningen, Países Bajos.
- Walther, G.-R.; Beissner, S. y Burga, C. A., 2005. Trends in the uphill shift of alpine plants. *Journal of vegetation science* 16: 541–548.
- Walther, G.-R.; Berger, S. y Sykes, M. T., 2005. An ecological 'footprint' of climate change. *Proceedings of the Royal Society of London Series B — Biological Sciences* 272: 1427–1432.
- Warren, M. S.; Hill, J. K.; Thomas, J. A.; Asher, J.; Fox, R.; Huntley, B.; Roy, D. B.; Telfer, M. G.; Jeffcoate, S.; Harding, P.; Jeffcoate, G.; Willis, S. G.; Greatorex-Davies, J. N.; Moss, D. y Thomas, C. D., 2001. Rapid response of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature* 414: 65–69.
- Wilson, R. J.; Gutierrez, D.; Gutierrez, J.; Martinez, D.; Agudo, R. y Monserrat, V. J., 2005. Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters* 8: 1138–1146.
- Yamamura, K. y Kiritani, K., 1998. A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. *Applied Entomology and Zoology* 33: 289–298.

Sección 5.8 Suelo

- AEMA, 2004a. *Señales medioambientales de la AEMA 2004*. Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhagen.
- AEMA, 2004b. *Impacts of Europe's changing climate: an indicator-based assessment*. EEA Report No 2/2004, Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhagen.
- AEMA, 2005a. *El medio ambiente en Europa — Estado y perspectivas 2005*. Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhagen.
- AEMA, 2005b. *Vulnerability and adaptation to climate change in Europe*. Informe técnico de la AEMA Nº 7/2005. Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhagen.
- AEMA, 2007. *El medio ambiente en Europa - cuarta evaluación*. Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhagen.
- Ayres, E.; Wall, D. H.; Simmons, B. L.; Field, C. B.; Milchunas, D. G.; Morgan J. A. y Roy, J., 2008. Belowground nematode herbivores are resistant to elevated atmospheric CO₂ concentrations in grassland ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 978–985.
- Barrett, J. E.; Virginia, R. A.; Wall, D. H. y Adams B. J., 2008. A decline in dominant invertebrate species contributes to altered carbon cycling in low diversity soil ecosystem. *Global Change Biology* 14: 1–11.
- Behan-Pelletier, V. y Newton, G., 1999. Linking soil biodiversity and ecosystem function: the taxonomic dilemma. *Bioscience* 49: 149–152.
- Bellamy, P. H.; Loveland, P. J.; Bradley, R. I.; Lark, R. M. y Kirk, G. J. D., 2005. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature* 437: 245–248.
- Binkley, D. y Christian, G., 1998. Why do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry* 42: 89–106.

- Brussaard, L.; Behan-Pelletier, W. M.; Bignell, D. E.; Brown, V. K.; Didden, W.; Folgarait, P.; Fragoso, C.; Wall Freckman, D.; Gupta, V. V. S. R.; Hattori, T.; Hawksworth, D. L.; Klopatek, C.; Lavelle, P.; Malloch, D. W.; Rusek, J.; Soderstrom, B.; Tiedje, J. M. y Virginia, R. A., 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* 26: 563–570.
- Brussaard, L.; de Ruiter, P. C.; Brown, G. G., 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture Ecosystem and Environment* 121: 233–244.
- Byrne, K. A.; Chojnicki, B.; Christensen, T. R.; Drösler, M.; Freibauer, A.; Friborg, T.; Frolking, S.; Lindroth, A.; Mailhammer, J.; Malmer, N.; Selin, P.; Turunen, J.; Valentini, R. y Zetterberg, L., 2004. *EU peatlands; Current carbon stocks and trace gas fluxes*. Carbo-Europe report 4.
- Calanca, P.; Roesch, A.; Jasper, K.; Wild, M., 2006. Global warming and the summertime evapotranspiration regime of the Alpine region. *Climatic Change* 79: 65–78.
- CE, 2004. *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection*. Editores: Lieve Van-Camp, Benilde Bujarrabal, Anna Rita Gentile, Robert J A Jones, Luca Montanarella, Claudia Olazabal, Senthil-Kumar Selvaradjou. EUR 21319 EN/2, 872 págs. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- CE, 2006. COM(2006)231, Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de Las Regiones, Estrategia temática para la protección del suelo.
- CNULD, 1997. Elaboración de una convención internacional de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África. Texto con anexos. Ginebra, Suiza.
- CNULD, 2008. Convención de Lucha contra la Desertificación de las Naciones Unidas. Perfiles regionales (Mediterráneo norte y Europa central y oriental). <http://www.unccd.int>.
- Convey, P.; Pugh, P. J. A.; Jackson, C.; Murray, A. W.; Ruhland, C. T.; Xiong, F. S.; Day, T. A., 2002. Response of Antarctic terrestrial microarthropods to long-term climate manipulations. *Ecology* 83: 3130–3140.
- Dersch, G. y Boehm, K., 1997. *Bodenschutz in Österreich*, editado por Blum, W. E. H.; Klaghofer, E.; Loechl, A. y Ruckebauer, P. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Österreich. págs. 411–432.
- Favis-Mortlock, D. T. y Boardman, J., 1995. Nonlinear responses of soil erosion to climate change: a modelling study on the UK South Downs. *Catena* 25: 365–387.
- Gao, X. J.; Pal, J. S.; Giorgi, F., 2006. Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation. *Geophysical Research Letters* 33, L03706.
- González, G. y Seastedt, T. R., 2001. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests. *Ecology* 82 (4): 955–964.
- Hooper, D. U.; Bignell, D. E.; Brown, W. K.; Brussaard, L.; Dangerfield, J. M.; Wall, D. H.; Wardle, D. A.; Coleman, D. C.; Giller, K. E.; Lavelle, P. van der Putten, W. H.; de Ruiter, P. C.; Rusek, J.; Silver, W.; Tiedje, J. M. y Wolters, V., 2000. Interactions between above- and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: Patterns, mechanisms, and feedbacks. *BioScience* 50: 1049–1061.
- IPCC, 2007a. Summary for Policymakers. En: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.), Cambridge UP, Cambridge, Reino Unido, 7–22.
- IPCC, 2007b. Chapter 12, Europe. En: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 541–580.
- Janssens I. A.; Freibauer, A.; Schlamadinger, B.; Ceulemans, R.; Ciais, P.; Dolman, A.; Heimann, M.; Nabuurs, G.-J.; Smith, P.; Valentini, R. y Schulze, E.-D., 2004. *The carbon budget of terrestrial ecosystems at the country-scale — a European case study*. Biogeosciences Discussions, www.biogeosciences.net/bgd/1/167/SRef-ID: 1810-6285/bgd/2004-1-167.
- Kirkby, M. J.; Jones, R. J. A.; Irvine, B.; Gobin, A.; Govers, G.; Cerdan, O.; Van Rompaey, A. J. J.; Le Bissonnais, Y.; Daroussin, J.; King, D.; Montanarella, L.; Grimm, M.; Vieillefont, V.; Puigdefabregas, J.; Boer, M.; Kosmas, C.; Yassoglou, N.; Tsara, M.; Mantel, S.; Van Lynden, G. J. y Huting, J., 2004. Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Versión 1 octubre 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No. 73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No. 16, EUR 21176, 18 págs. y 1 mapa en formato ISO B1. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- Lappalainen, E., 1996. Global Peat Resources (International Peat Society, Jyväskylä), Finlandia.
- Liski, J.; Perruchoud, D. y Karjalainen, T., 2002. Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe, *Forest Ecology and Management* 169: 159–175.
- Paustian, K.; Six, J.; Elliott, E. T. y Hunt, H. W., 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48: 147–163.
- Proyecto ECCE — informe final, 2005. 'Evaluación preliminar de los impactos en España del cambio climático'. Realizado por un acuerdo entre el Ministerio de Medio Ambiente de España y la Universidad de Castilla La Mancha.

- Poage, M. A.; Barrett, J. E.; Virginia, R. A. y Wall, R.A., 2008. The influence of soil geochemistry on nematode distribution, McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 40: 119–128.
- Rawls, W. J.; Pachepsky, Y. A.; Ritchie, J. C.; Sobecki, T. M.; Bloodworth, H., 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention, *Geoderma*, 2003. Elsevier.
- Ruess, L.; Michelsen, A.; Schmidt, I. K.; Jonasson, S., 1999. Simulated climate change affecting microorganisms, nematode density and biodiversity in subarctic soils. *Plant and soil* 212: 63–73.
- Sleutel, S.; De Neve, S. y Hofman, G., 2003. Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland, *Soil Use & Manage* 19: 166–171.
- Smith J.; Smith P.; Wattenbach, M.; Zaehle, S.; Hiederer, R.; Jones, R. J. A.; Montanarella, L.; Rounsevell, M. D. A.; Reginster, I.; Ewert, F., 2005. Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990–2080. *Global Change Biology* 11 (12): 2141.
- Smith, P.; Smith, J.; Wattenbach, M.; Meyer, J.; Lindner, M.; Zaehle, S.; Hiederer, R.; Jones, R. J. A.; Montanarella, L.; Rounsevell, M.; Reginster, I. y Kankaanpää, S., 2006. Projected changes in mineral soil carbon of European forests, 1990–2100. *Canadian Journal of Soil Science* 86: 159–169.
- Swift, M. J.; Andren, O.; Brussaard, L.; Briones, M.; Couteaux, M. M.; Ekschmitt, K.; Kjoller, A.; Loiseau, P.; Smith, P., 1998. Global change, soil biodiversity, and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: three case studies. *Global Change Biology* 4: 729–743.
- Vleeshouwers, L. M. y Verhagen, A., 2002. Carbon emissions and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe, *Global Change Biology* 8: 519–530.
- Wall, D. H.; Adams, G.; Parson, A. N., 2001. Soil Biodiversity. En: Chapin III, F. S.; Sala, E. O.; Huber-Sannwald E. (eds.). *Global Biodiversity in a Changing Environment: Scenarios for the XXI century*. Springer Verlag, págs. 47–82.
- Wall, D. H. y Virginia, R. A., 2000. The world beneath our feet: soil biodiversity and ecosystem functioning. Pages 225–241 en P.R. Raven y T. Williams, editores. *Nature and human society: the quest for a sustainable world*. National Academy of Sciences and National Research Council, Washington, DC.
- Williams J. R.; Sharpley, A. N., 1989. Productivity Impact Calculator.
- Wolters, V.; Silver, W. L.; Bignell, D. E.; Coleman, D. C.; Lavelle, P.; van der Putten, W. H.; de Ruiter, P.; Rusek, J.; Wall, D. H.; Wardle, D. A.; Brussaard, L.; Dangerfield, J. M.; Brown, W. K.; Giller, K.; Hooper, D. U.; Sala, O.; Tiedje; van Veen J. J. A., 2000. Effects of global changes on aboveand below ground biodiversity in terrestrial ecosystems: implications for ecosystem functioning. *BioScience* 50: 1089–1098.
- WWF, 2007. *Ecological assessment of the wildfires of August 2007 in the Peloponnese, Greece*. WWF Grecia, Atenas, Septiembre 2007.
- ### Sección 5.9 Agricultura y silvicultura
- AEA Energy and Environment, 2007. Adaptation to climate change in the agricultural sector. AGRI-2006-G4-05 Informe para la Dirección General de Agricultura y Desarrollo Rural de la Comisión Europea ED05334.
- AEMA, 2006. *European forest types. Categories and types for sustainable forest management reporting and policy*. Technical report No 9/2006. Copenhagen.
- Aerts, R.; Cornelissen, J. H. C. y Dorrepaal, E., 2006. Plant performance in a warmer world: general responses of plants from cold, northern biomes and the importance of winter and spring events. *Plant Ecology* 82 (1–2): 65–77.
- Ainsworth, E. A. y Long, S. P., 2005. What have we learned from 15 years of freeair CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytol* 165: 351–371.
- Alexander, L. V.; Zhang, X.; Peterson, T. C.; Caesar, J.; Gleason, B.; Klein Tank, A. M. G.; Haylock, M.; Collins, D.; Trewin, B.; Rahimzadeh, F.; Tagipour, A.; Rupa Kumar, K.; Revadekar, J.; Griffiths, G.; Vincent, I.; Stephenson, D. B.; Burn, J.; Aguilar, E.; Brunet, M.; Taylor, M.; New, M.; Zhai, P.; Rusticucci, M. y Vazquez-Aguirre, J. I., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research* 111(D5): D05109.
- Alpert, P.; Ben-gai, T.; Baharad, A.; Benjamini, Y.; Yekutieli, D.; Colacino, M.; Diodato, L.; Ramis, C.; Homar, V.; Romero, R.; Michaelides, S. y Manes, A., 2002. The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters* 29 (11): 31-1–31-4.
- Bakkenes, M.; Alkemade, J. R. M.; Ihle, F.; Leemans, R. y Latour, J. B., 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8: 390–407.
- Bielza, M.; Conte, C.; Dittmann, C.; Gallego, J.; Stroblmair, J., 2008. *Agricultural Insurance Schemes*. EUR report (en prensa).
- Bongaarts, J., 1994. Can the growing human population feed itself?, *Scientific American* 270 (3): 18–24.
- Broadmeadow, M.; Ray, D.; Sing, L. y Poulson, E., 2003. Climate change and British woodland: what does the future hold? *Forest Research Annual Reports and Accounts 2002–2003*. HMSO, Edimburgo, págs. 70–83.
- Brunetti, M.; Maugeri, M.; Monti, F. y Nanni, T., 2004. Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years. *Journal of Geophysical Research* 109 (D05): D05102.

- Camia, A.; Amatulli G.; San-Miguel-Ayanz, J., 2008. *Past and future trends of forest fire danger in Europe*. EUR Technical Report (EUR 23124).
- Cannell, M. G. R.; Thornley, J. H. M.; Mobbs, D. C. y Friend, A. D., 1998. UK conifer forests may be growing faster in response to increased N deposition, atmospheric CO₂ and temperature. *Forestry* 71: 277–296.
- Casalegno, S.; Amatulli, G.; Bastrup-Birk, A.; Houston, T., 2007. *Modelling Current and Future Distribution of European Forest Categories*. Proceedings of the 6th European Conference on Ecological Modelling: Challenges for ecological modelling in a changing world: Global Changes, Sustainability and Ecosystem Based Management. 27–30 Noviembre 2007. Trieste, Italia.
- CE, MARS Bulletins, 2008. <http://mars.jrc.it/marsstat/Bulletins/2008.htm>.
- Chmielewski, F.-M.; Müller, A. y Bruns, E., 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology* 121: 69–78.
- Chuine, I.; Yiou, P.; Viovy, N.; Seguin, B.; Daux, V. y Le Roy Ladurie, E., 2004. Grape ripening as a past climate indicator. *Nature* 432: 289–290.
- Dixon, R. K.; Brown, S.; Houghton, R. A.; Solomon, A. M.; Trexler, M. C. y Wisniewski, J., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185–190.
- Duchêne, E. y Schneider, C., 2005. Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agronomy for Sustainable Development* 24: 93–99.
- Eastaugh, C., 2008. IUFRO Occasional Paper No. 21: Adaptations of Forests to Climate Change: A Multidisciplinary Review ISSN 1024-414X.
- Easterling, W. E.; Aggarwal, P. K.; Batima, P.; Brander, K. M.; Erda, L.; Howden, S. M.; Kirilenko, A.; Morton, J.; Soussana, J.-F.; Schmidhuber, J. y Tubiello, F. N., 2007. *Food, fibre and forest products. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, M. L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 273–313.
- Flannigan, M. D.; Amiro, B. D.; Logan, K. A.; Stocks, B. J. y Wotton, B. M., 2005. Forest Fires and Climate Change in the 21st Century. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. *Springer* 11: 847–859.
- Flannigan, M. D.; Stocks, B. J.; Wotton, B. M., 2000. Climate Change and Forest Fires. *The Science of the Total Environment* 262 (3): 221–229.
- Genovese, G., 2004b. *Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System*. EUR 21291 EN/1–4. http://mars.jrc.it/marsstat/Crop_Yield_Forecasting/METAMP/.
- Hafner, S., 2003. Trends in maize, rice and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: a prevalence of linear growth. *Agriculture Ecosystems & Environment* 97: 275–283.
- Harrison, P. A.; Berry, P. M.; Butt, N.; New, M., 2006. Modelling climate change impacts on species' distributions at the European scale: implications for conservation policy. *Environmental Science & Policy* 9: 116–128.
- Heim, R. R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83: 1149–1165.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, K. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Jablonski, L. M.; Wang, X. y Curtis, P. S., 2002. Plant reproduction under elevated CO₂ conditions: A meta-analysis of reports on 79 crop and wild species. *New Phytologist* 156: 9–26.
- Karnosky, D. F.; Pregitzer, K. S.; Zak, D. R.; Kubiske, M. E.; Hendrey, G. R.; Weinstein, D.; Nosal, M. y Percy, K. E., 2005. Scaling ozone responses of forest trees to the ecosystem level in a changing climate. *Plant, Cell & Environment* 28 (8): 965–981.
- Keeling, C. D.; Chin, F. J. S.; Whorf, T. P., 1996. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. *Nature* 382: 146–149.
- Kimball, B. A.; Kobayashi, K. y Bindi, M., 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. *Advances in Agronomy* 70: 293–368.
- Kölling, C., 2008. Wälder im Klimawandel: Die Forstwirtschaft muss sich anpassen. En: Lozán, H. Graßl, H.; Jendritzky, G.; Karbe, L.; Reise, K. (Hrsg.) Unter Mitwirkung von W. A.; Magnuson, J. J.; Robertson, D. M.; Benson, B. J.; Wynne, R. H.; Livingstone, D. M.; Arai, T.; Assel, R. A.; Barry, R. G.; Card, V.; Kuusisto, E.; Granin, N. G.; Prowse, T. D.; Stewart, K. M.; Vuglinski, V. S., 2000. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science* 289: 1743–1746.
- Maheras, P.; Tolika, K.; Anagnostopoulou, C.; Vafiadis, M.; Patrikas, I. y Flocas, H., 2004. On the relationships between circulation types and changes in rainfall variability in Greece. *International Journal of Climatology* 24: 1695–1712.
- Maracchi, G.; Sirotenko, O.; Bindi, M., 2005. Impacts of present and future Climate Variability on Agriculture and Forestry in the Temperate Regions: Europe. *Climatic Change* 70: 117–135.
- McCarthy, J. J.; Canziani, O. F.; Leary, N. A.; Dokken, D. J.; White, K. S. (eds). 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, Reino Unido; 1000 págs.

- Meleux, F.; Solmon, F.; Giorgi, F., 2007. Increase in summer European ozone amounts due to climate change. *Atmospheric Environment* 41 (35): 7577–7587.
- Menzel, A.; Estrella, N., 2001. Plant phenological changes. *Fingerprints of Climate Change — Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges*, pp. 123–137. Walther, G. R.; Burga, C. A.; Edwards P. J. (eds). Kluwer Academic/Plenum, NY y Londres.
- Menzel, A.; Fabian, P., 1999. Growing season extended in Europe. *Nature* 397 (6721): 659.
- Menzel, A., 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology* 44 (2): 76–81.
- Menzel, A.; Jakobi, G.; Ahas, R.; Scheifinger, H. y Estrella, N., 2003: Variations of the climatological growing season (1951–2000) in Germany compared with other countries. *International Journal of Climatology* 23: 793–812.
- Myneni, R. B.; Keeling, C. D.; Tucker, C. J.; Asrar, G.; Nemani, R. R., 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386: 698–702.
- Norby, R. J.; Hartz-Rubin, J.; Verbrugge, M. J., 2003. Phenological responses in maple to experimental atmospheric warming and CO₂ enrichment. *Global Change Biology* 9: 1792–1801.
- Olesen, J. E. y Bindi, M., 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy* 16: 239–262.
- Parry, M. L. (ed.), 2000. *Assessment of the Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project*. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, Reino Unido, 320 págs.
- Parry, M. L.; Rosenzweig, C.; Iglesias, A.; Livermore, M. y Fischer, G., 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14 (1): 53–67.
- Proyecto ECCE — Informe final, 2005. 'Evaluación preliminar de los impactos en España del cambio climático'. Realizado por un acuerdo entre el Ministerio de Medio Ambiente de España y la Universidad de Castilla La Mancha.
- Reilly, J.; Patsev, S.; Felzer, B.; Wang, X.; Dicklighter, D.; Melillo, J.; Prinn, R.; Sarofim, M.; Sokolov, A. y Wang, C., 2007. Global economic effects of changes in crops, pasture, and forests due to changing climate, carbon dioxide, and ozone. *Energy Policy* 35 (11): 5370–5383.
- Robeson, S.M., 2002. Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. *Climatic Change* 52 (1–2): 219–238.
- Root, T. L.; Price, J. T.; Hall, K. R.; Schneider, S. H.; Rosenzweig, C.; Pounds, A., 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60.
- San Miguel-Ayanz, J.; Carlson, J. D.; Alexander, M.; Tolhurst, K.; Morgan, G.; Sneeuwjagt, R. y Dudley, M., 2003. Current Methods to Assess Fire Danger Potential. En: *Wildland Fire Danger Estimation and Mapping. The Role of Remote Sensing Data* (E. Chuvieco, Ed.) *World Scientific Publishing*. Singapur, págs. 21–61.
- Scheifinger, H.; Menzel, A.; Koch, E.; Peter, C., 2003. Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology* 74 (1–2): 41–51.
- Sitch, S.; Cox, P. M.; Collins, W. J.; Huntingford, C., 2007. Indirect radiative forcing of climate change through ozone effects on the land-carbon sink. *Nature* 448: 791–795.
- Spiecker, H.; Mielikainen, K.; Kohl, M.; Skovsgaard, J. P.; 1996. *Growth Trends in European Forests: Studies from 12 Countries*. Springer-Verlag Berlin y Heidelberg GmbH & Co. págs. 372.
- Tait, A.; Zheng, X., 2003. Mapping frost occurrence using satellite data. *Journal of Applied Meteorology* 42 (2): 193–203.
- Tucker, C. J.; Slayback, D. A.; Pinzon, J. E.; Los, S. O.; Myneni, R. B.; Taylor, M. G., 2001. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982–1999. *International Journal of Biometeorology* 45: 184–190.
- Van Wagner, C. E., 1987. *Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Canadian Forestry Service, Ottawa, Ontario. Forestry Technical Report 35. 37 págs.
- Walther, G. R.; Post, E.; Convey, P.; Menzel, A.; Parmesan, C.; Beebee, T. J. C.; Fromentin, J. M.; Hoegh-Guldberg, O.; Bairlein, F., 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389–395.
- Way, J.; Zimmermann, R.; Rignot, E.; McDonald, K.; Oren, R., 1997. Winter and spring thaw as observed with imaging radar at BOREAS. *Journal of Geophysical Research* 102 (24): 29673–29684.
- Winnett, S. M., 1998. Potential effects of climate change on U.S. forests: a review. *Climate Research* 11: 39–49.
- Yan, Z.; Jones, P. D.; Davies, T. D.; Moberg, A.; Bergström, H.; Camuffo, D.; Cocheo, C.; Maugeri, M.; Demarée, G.R.; Verhoeve, T.; Thoen, E.; Barriendos, M.; Rodríguez, R., Martín-Vide, J.; Yang, C., 2002. Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations. *Climatic Change* 53 (1–3): 355–392.
- Zhou, L.; Tucker, C. J.; Kaufmann, R. K.; Slayback, D.; Shabanov, N. V.; Myneni, R. B., 2001. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *Journal of Geophysical Research* 106 (D17): 20069–20083.

Sección 5.10 Salud humana

Analitis, A.; Katsouyanni, K. (en imprenta). Short-term effects of temperature and air pollution on health: the EuroHEAT analysis. En: Matthies F, Menne B. (eds.). Preparedness and

response to heat-waves in Europe, from evidence to action. Public health response to extreme weather events. Copenhagen, Oficina Regional para Europa de la OMS.

Baccini M.; Biggeri, A.; Accetta, G.; Kosatsky, T.; Katsouyanni, K.; Analitis, A.; Ross Anderson, H.; Bisanti, L.; D'Ippoliti, D.; Danova, J.; Forsberg, B.; Medina, S.; Paldy, A.; Rabczenko, D.; Schindler, C. y Michelozzi, P., 2008. Effects of apparent temperature on summer mortality in 15 European cities: results of the PHEWE project. *Epidemiology* 19 (5).

Bouchama, A., 2007. *What should health professionals know?* Reunión final de EuroHEAT, Bonn, Alemania, 22-23 Marzo 2007.

Carson, C.; Hajat, S.; Armstrong, B. *et al.*, 2006. Declining vulnerability to temperature-related mortality in London over the 20th century. *American Journal of Epidemiology* 164 (1): 77-84.

CE, 2007. Documento de trabajo del personal de la Comisión. Anexo del Libro Verde de la Comisión al Consejo, el Parlamento Europeo, el Comité Económico y Social Europeo y Comité de las Regiones. *Adapting to climate change in Europe — options for EU action*. http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/ia_sec_8.pdf.

Confalonieri, U.; Menne, B.; Akhtar, R. *et al.*, 2007. *Human Health*. En: Parry, M. L. *et al.*, eds. *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, EE. UU. Cambridge University Press.

Daniel, M.; Danielová, V.; Kříž, B., 2006. Tick-borne Encephalitis. En: Menne B, Ebi KL, eds. *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*. Darmstadt: Oficina Regional para Europa de la OMS, Steinkopff Verlag; págs. 189-205.

Dessai, S., 2003. Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An assessment of the potential impacts of climate change. *International Journal of Biometeorology* 48 (1): 37-44.

Donaldson, G.; Kovats, R. S.; Keatinge, W. R. *et al.*, 2001. Heat-and-cold-related mortality and morbidity and climate change. En: *Health effects of climate change in the UK*. Londres, Departamento de Salud; págs. 70-80.

D'Souza, R.; Becker, N.; Hall, G. *et al.*, 2004. Does ambient temperature affect foodborne disease? *Epidemiology* 15: 86-92.

Ebi, K. L., 2006. Floods and Human Health. En: Menne, B.; Ebi, K. L. (eds.). *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*. Darmstadt: Oficina Regional para Europa de la OMS, Steinkopff Verlag; págs. 99-121.

Ebi, K. L.; Menne, B., 2006. Vector- y Rodent-borne Diseases. En: Menne, B.; Ebi, K. L. (eds.). *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*. Darmstadt: Oficina Regional para Europa de la OMS, Steinkopff Verlag; págs. 129-265.

ECDC, OMS, 2007. *Mission Report. Chikungunya in Italy. Joint ECDC/WHO visit for a European Risk Assessment*. 17-21

septiembre 2007: Oficina Regional para Europa de la OMS. Disponible en: http://ecdc.europa.eu/pdf/071030CHK_mission_ITA.pdf.

Fleury, M.; Charron, D. F.; Holt, J. D. *et al.*, 2006. A time series analysis of the relationship of ambient temperature and common bacterial enteric infections in two Canadian provinces. *International Journal of Biometeorology* 50 (6): 385-391.

Goulson, D.; Derwent, L. C.; Hanley, M. *et al.*, 2005. Predicting calyptate fly populations from the weather, and the likely consequences of climate change. *Journal of Applied Ecology and Society* 42: 795-804.

Hales, S.; de Wet, N.; Maindonald, J. *et al.*, 2002. Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. *Lancet* 360: 830-834.

Hall, G. V.; D'Souza, R. M.; Kirk, M. D., 2002. Foodborne disease in the new millennium: out of the frying pan and into the fire. *Medical Journal of Australia* 177 (2/16 Dic): 614-618.

Hassi, J.; Rytönen, M.; Kotaniemi, J. *et al.*, 2005. Impacts of cold climate on human heat balance, performance and health in circumpolar areas. *Int J Circumpolar Health* 64 (5): 459-467.

Hubálek, Z.; Kříž, B.; Menne, B., 2006. West Nile Virus: Ecology, Epidemiology and Prevention. En: Menne, B.; Ebi, K. L. (eds.). *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*. Darmstadt: Oficina Regional para Europa de la OMS, Steinkopff Verlag; págs. 217-242.

Hunter, P.R., 2003. Climate change and waterborne and vectorborne disease. *Journal of Applied Microbiology* 94: 37-46.

IPCC, 2007a. *Summary for Policymakers*. En: Solomon S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. y Miller, H. L. (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, EE. UU. Cambridge University Press.

IPCC, 2007b. *Summary for Policymakers*. En: Parry ML *et al.*, eds. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press; págs. 7-22.

Kistemann, T.; Classen, T.; Koch, C. *et al.*, 2002. Microbial Load of Drinking Water Reservoir Tributaries during extreme Rainfall and Runoff. *Applied and Environmental Microbiology* 68 (5): 2188-2197.

Koppe, C.; Jendritzky, G.; Pfaff, G., 2003. Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. En: DWD, editor. *Klimastatusbericht 2003*; págs. 152-162

Korenberg, E., 2004. Environmental causes for possible relationship between climate change and changes of natural foci of diseases and their epidemiologic consequences. *Climate*

change and public health in Russia in the XXI Century. Proceeding of the international workshop, Moscow.

Kovats, R. S.; Edwards, S.; Hajat, S. *et al.*, 2004. The effect of temperature on food poisoning: time series analysis in 10 European countries. *Epidemiology and Infection* 132 (3): 443.

Kovats, R. S.; Edwards, S. J.; Charron, D. *et al.*, 2005. Climate variability and campylobacter infection: an international study. *International Journal of Biometeorology* 49 (4): 207–214.

Kovats, R. S. y Hajat, S., 2008. Heat stress and public health: a critical review. *Annual Review of Public Health* 29 (9): 11–55.

Kovats, S., Jendritzky, G., *et al.*, 2006. Heat Waves and Human Health. En: Menne B, Ebi KL, eds. *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*. Darmstadt: Oficina Regional para Europa de la OMS, Steinkopff Verlag; págs. 63–90.

Kříž, B., Beneš, C., Částková, J. *et al.*, 1998. *Monitorování epidemiologické situace v zaplavených oblastech v České Republice v roce 1997*. (Monitoring the Epidemiological situation in flooded areas of the Czech Republic in 1997). En: Konference DDD '98; Kongresové Centrum Lázeňská Kolonáda Poděbrady, 11.–13. května 1998 (Acta de la Conferencia DDD'98, 11–12 Mayo, 1998, Poděbrady, República Checa). Poděbrady, República Checa.

Kunst, A. E., Looman, C. W., Mackenbach, J. P., 1991. The decline in winter excess mortality in The Netherlands. *International Journal of Epidemiology* 20 (4): 971–977.

Lake, I. R.; Bentham, G.; Kovats, R. S. *et al.*, 2005. Effects of weather and river flow on cryptosporidiosis. *Journal of Water and Health* 3 (4): 469–474.

Lehane, L. y Lewis, R. J., 2000. Ciguatera: recent advances but the risk remains. *International Journal of Food Microbiology* 61 (2–3): 91–125.

Lerchl, A., 1998. Changes in the seasonality of mortality in Germany from 1946 to 1995: the role of temperature. *International Journal of Biometeorology* 42: 84–88.

Lindgren, E.; Naucke, T., 2006. Leishmaniasis: influences of climate and climate change epidemiology, ecology and adaptation measures. En: Menne, B; Ebi, K. (eds.). *Climate change and adaptation strategies for human health*. Darmstadt: Oficina Regional para Europa de la OMS, Steinkopff; págs. 131–156.

Louis, V. R.; Gillespie, I. A.; O'Brien, S. J. *et al.*, 2005. Temperature-driven Campylobacter seasonality in England and Wales. *Appl Environ Microbiol*, 71 (1): 85–92.

Matthies, F.; Bickler, G.; Cardenosa Marin, N. *et al.* (eds.), 2008. *Heat-Health Action Plans. Guidance*. Copenhagen, Oficina Regional para Europa de la OMS.

McMichael, A. J.; Woodruff, R. E.; Hales, S., 2006. Climate change and human health: present and future risks. *Lancet* 367 (9513): 859–869.

Medlock, J.; Avenell, D.; Barrass, I. *et al.*, 2006. Analysis of the potential for survival and seasonal activity of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in the United Kingdom. *J Vect Ecol*. 31 (2): 292–304.

Menne, B.; Apfel, F.; Kovats, S. *et al.*, 2008. *Protecting health in Europe from climate change*. Oficina Regional para Europa de la OMS. Copenhagen.

Miettinen, I.; Zacheus, O.; von Bonsdorff, C., 2001. Waterborne epidemics in Finland in 1998–1999. *Water Science and Technology* 43: 67–71.

Ranhoff, A. H., 2000. Accidental hypothermia in the elderly. *Int J Circumpolar Health* 59 (3–4): 255–259.

Reacher, M.; McKenzie, K.; Lane, C. *et al.*, 2004. Health impacts of flooding in Lewes: a comparison of reported gastrointestinal and other illness and mental health in flooded and non-flooded households. *Communicable disease and public health* 7 (1): 39–46.

Roberts, J.; Cumberland, P.; Sockett, P. *et al.*, 2003. The study of infectious intestinal disease in England: socio-economic impact. *Epidemiology and Infection* 130: 1–11.

Robine, J. M.; Cheung, S. L.; Le Roy, S. *et al.*, 2007. Report on excess mortality in Europe during summer 2003. EU Community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114. 2003 Heat wave project. Disponible en http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2005/action1/docs/action1_2005_a2_15_en.pdf.

Schaffner, F.; Hendrickx, G.; Scholte, E.J.; Medlock, J.; Angelini, P.; Ducheyne, E., 2008. Development of *Aedes albopictus* risk maps. TigerMaps project report. Stockholm: European Centre for Disease Prevention and Control. <http://ecdc.europa.eu/>.

Scholte, E. y Schaffner, F., 2007. Chapter 14: Waiting for the tiger: establishment and spread of the *Aedes albopictus* mosquito in Europe. En: Takken, W.; BGJ, K. (eds.). *Emerging pests and vector-borne diseases in Europe. Ecology and control of vector-borne diseases*. Wageningen, Países Bajos: Wageningen Academic Publishers; p. 241–260.

Semenza, J. y Menne, B., 2008. Infectious diseases and climate change in Europe. Submitted to *Lancet Infectious Diseases*, Agosto 2008.

Semenza, J. y Nichols, G., 2007. Cryptosporidiosis surveillance and water-borne outbreaks in Europe. *Euro surveill* 12 (5). <http://www.eurosurveillance.org/em/v12n05/1205-1227.asp>.

Tam, C.; Rodrigues, L.; O'Brien, S. *et al.*, 2006. Temperature dependence of reported Campylobacter infection in England, 1989–1999. *Epidemiology and Infection* 134 (1): 119–125.

van Pelt, W.; de Wit, M. A.; Wannet, W. J. *et al.*, 2003. Laboratory surveillance of bacterial gastroenteric pathogens in the Netherlands, 1991–2001. *Epidemiology and Infection* 130 (3): 431–441.

Capítulo 6 Adaptación al cambio climático

AEMA, 2005. *Vulnerability and adaptation to climate change in Europe*. EEA Technical report No 7/2005. Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhague.

AEMA, 2007. *Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation*. EEA Technical report No 13/2007. Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhague.

CE, 2007. Adaptación al cambio climático en Europa: Opciones de actuación para la UE. SEC(2007) 849, Comisión Europea, Bruselas.

CMNUCC, 2006. Programa de trabajo sobre los efectos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en: *Informe del órgano subsidiario de asesoramiento científico y tecnológico* en su 25ª sesión celebrada en Nairobi del 6 al 14 de noviembre de 2006.

CMNUCC 2007a. *The analysis of existing and potential investment and financial flows relevant to the development of an effective and appropriate international response to climate change*, CMNUCC.

CMNUCC 2007b. *Investment And Financial Flows To Address Climate Change*, Convención Marco sobre el Cambio Climático.

CMNUCC, 2007c. Decisión 1/CP.13, Plan de Acción de Bali. Banco Mundial, 2007. World Development Indicators. CD-ROM. Washington, DC.

Füssel, H. M. y Klein, R. J. T., 2004. Conceptual Frameworks Of Adaptation To Climate Change And Their Applicability To Human Health, Potsdam Institute Climate Impact Research, PIK Report No 91, Proyecto de la CE coordinado por la OMS 'Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health' (cCASHh).

Grothmann T. y Patt, A., 2005. Adaptive Capacity and Human Cognition: The Process of Individual Adaptation to Climate Change. *Global Environmental Change* 15 (3): 199–213.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

Isoard, S.; Grothmann, T. y Zebisch, M., 2008. Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation: Theory and Concepts', Workshop 'Climate Change Impacts and Adaptation in the European Alps: Focus Water', UBA Viena.

Massey, E., 2007. Framework for comparing adaptation initiatives within countries. Eionet workshop on impacts, vulnerability and adaptation, Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhague.

PNUMA, 2007. *Human Development Report 2007/2008 — Fighting climate change: Human solidarity in a divided world*, PNUMA.

PNUMA, 2004. *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change; Developing Strategies, Policies and Measures*, PNUMA.

OCDE, 2008. *Economic aspects of adaptation to climate change — Costs, benefits and policy instruments*. Shardul Agrawala and Samuel Fankhauser (eds.).

Oxfam International, 2007. *Adapting to Climate Change. What's Needed in Poor Countries, and Who Should Pay*. Oxfam Briefing Paper 104. Oxford.

Swart, R. y Raes, F., 2007. Making integration of adaptation and mitigation work: mainstreaming into sustainable development policies? *Climate Policy* 7 (4): 288–303.

Uhel, R. y Isoard, S., 2008. Regional adaptation to climate change: a European spatial planning challenge, InfoRegio Panorama, March 2008 No 25 'Regional policy, sustainable development and climate change', Comisión Europea, DG REGIO.

Capítulo 7 Consecuencias económicas del cambio climático

Abegg, B.; Agrawala S.; Crick F. y de Montfalcon, A., 2007. Climate change impacts and adaptation in winter tourism. En: *Climate change in the European Alps: adapting winter tourism and natural hazards management*. París: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico: págs. 25–60.

ABI, 2005. *Financial risks of climate change — summary report*. http://www.abi.org.uk/Display/File/Child/552/Finacial_Risks_of_Climate_Change.pdf.

ABI, 2006. *Coastal Flood Risk — Thinking for tomorrow, acting today*. http://www.abi.org.uk/DISPLAY/default.asp?Menu_ID=773&Menu_All=1,773,0&Child_ID=651.

ABI, 2007. *Adapting to our changing climate: A manifesto for business, government and the public*. http://www.abi.org.uk/BookShop/ResearchReports/Climate_Change_FINAL.pdf.

Ackerman, F. y Stanton, E., 2006. *Climate Change — the Costs of Inaction*. Report to Friends of the Earth England, Wales and Northern Ireland, Octubre, 2006.

AEMA, 2004. *Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe*. Environmental issue report No 35, Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhague.

AEMA, 2006. Working paper. Climate Change: the Cost of Inaction — A review of assessment studies with a focus on the methodologies used. Specific Agreement No 3570/ B2005. EEA.52247. Documento final de trabajo, Enero 2006. Barbara Buchner, Michela Catenacci, Alessandra Gorla (FEEM) Onno Kuik, Richard Tol (IVM).

AEMA, 2007a. *Cambio climático y adaptación de los usos del agua*. Edición española: Ministerio de Medio Ambiente, 2008.

- AEMA, 2007b. *Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation*, Informe Técnico de la AEMA Nº 13/2007, Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhague.
- Alberini, A. y Chiabai, A., 2005. *Urban environmental health and sensitive populations: how much are the Italians willing to pay to reduce their risks?* SIEV — Sustainability Indicators and Environmental Valuation (NOTA DI LAVORO 105.2005), FEEM, Milán.
- Alcamo, J.; Moreno, J. M.; Nováky, B.; Bindi, M.; Corobov, R.; Devoy, R. J. N.; Giannakopoulos, C.; Martin, E.; Olesen, J. E.; Shvidenko, A., 2007. Europe. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 541–580.
- Andréasson, J.; Bergström, S.; Gardelin, M. y Hellström, S.-S., 2006. *Climate Change Effects on Dam Safety — A Sensitivity Analysis of the Swedish Hydrological Dam Safety Guidelines*. European Conference on Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources. Series Climate Change Effects on Dam Safety — A Sensitivity Analysis of the Swedish Hydrological Dam Safety Guidelines. http://verkefni.vatn.is/ce/files/Hydrological_models/johan_andreasson.pdf.
- Armstrong, B.; Mangtani, P.; Fletcher, A.; Kovats, R. S.; McMichael, A. J.; Pattenden, S. y Wilkinson, P., 2004. Effect of influenza vaccination on excess deaths occurring during periods of high circulation of influenza: cohort study in elderly people. *British Medical Journal* 329: 660–663.
- Barredo, J. I., 2007. Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Natural Hazards* 42: 125–148.
- Bresser et al., 2006. *The effects of climate change in the Netherlands*. Informe de la Agencia de Evaluación Medioambiental de los Países Bajos. (eds.). www.mnp.nl/en/publications/2006/TheeffectsofclimatechangeintheNetherlands.html.
- Bergström, S.; Jóhannesson, T.; Aðalgeirsdóttir, G.; Ahlström, A.; Andreassen, L. M.; Andréasson, J.; Beldring, S.; Björnsson, H.; Carlsson, B.; Crochet, P.; de Woul, M.; Einarsson, B.; Elvehøy, H.; Flowers, G. E.; Graham, P.; Gröndal, G. O.; Guðmundsson, S.; Hellström, S.-S.; Hock, R.; Holmlund, P.; Jónsdóttir, J. F.; Pálsson, F.; Radoc, V.; Reeh, N.; Roald, L. A.; Rogozova, S.; Rosberg, J.; Sigurðsson, O.; Suomalainen, M.; Thorsteinsson, T.; Vehviläinen, B. y Veijalainen, N., 2007. *Impacts of climate change on river runoff, glaciers and hydropower in the Nordic area*. Informe final conjunto de los Grupos de Nieve e Hielo y Modelos Hidrológicos de la CE. Informe de la CE. CE-6. 40 págs. Norden — Nordic Energy Research, Reykjavik. www.os.is/cefiles/hydro/final_report_high.pdf.
- BMU, 2007. Time to Adapt Symposium: Climate Change and the European Water Dimension. Discussion paper on Electricity. Series Time to Adapt Symposium: Climate Change and the European Water Dimension. Discussion paper on Electricity. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Bouwer, L. M.; Crompton, R. P.; Faust, E.; Höppe, P. y Pielke R. A. Jr., 2007. Disaster management: Confronting Disaster Losses. *Science* 318 (5851): 753.
- Cartalis, C.; Synodinou, A.; Proedrou, M.; Tsangrassoulis, A. y Santamouris, M., 2001. Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for the southeast Mediterranean region. *Energy Conversion and Management* 42: 1647–1656.
- CE, 2007. Adaptación al cambio climático del sector agrícola, EC-DG AGRI, AEA-T y la Universidad Politécnica de Madrid, Informe final, Diciembre.
- CE, 2008a. Study on impacts of climate change on European forests and options for adaptation, EC-DG AGRI, European Forest Institute, 1er borrador provisional del 31 de marzo de 2008.
- CE, 2008b. The economics of ecosystems and biodiversity, Informe provisional.
- Cline, W., 2004. Meeting the challenge of global warming: reply to Manne y Mendelsohn. Copenhagen Consensus Challenge Paper, Opponents Notes Reply, 8 págs. http://www.copenhagenconsensus.com/Files/Filer/CC/Papers/Reply_-_Cline_-_Climate_Change_180504.pdf. (Global, adaptación).
- Confalonieri, U.; Menne, B.; Akhtar, R. et al., 2007. Human Health. En: Parry, M. L. et al., eds. *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, EE. UU. Cambridge University Press.
- Downing, T. E.; Butterfield, R. E.; Edmonds, B.; Knox, J. W.; Moss, S.; Piper, B. S. y Weatherhead, E. K. (y el equipo del proyecto CCDeW), 2003. *Climate Change and the Demand for Water*, Research Report, Instituto de Estocolmo de Medio Ambiente Oficina de Oxford, Oxford.
- Eurostat, 2007. Panorama of Energy. Energy statistics to support EU policies and solutions. 2007. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-76-06-604/EN/KS-76-06-604-EN.PDF
- Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Fronzek, S. y Carter, T. R., 2007. Assessing uncertainties in climate change impacts on resource potential for Europe based on projections from RCMs and GCMs. *Climatic Change*, 81: 357–371.
- Giannakopoulos, C. y Psiloglou, B. E., 2006. Trends in energy load demand for Athens, Greece: weather and non-weather related factors. *Climate Research* 13: 97–108.

- Giannakopoulos, C., Bindi, M., Moriondo, M., LeSager, P. y Tin, T., 2005. *Climate Change Impacts in the Mediterranean Resulting from a 2oC Global Temperature Rise*. Informe del WWF, Gland, Suiza. Acceso el 01.10.2006 en <http://assets.panda.org/downloads/medreportfinal8july05.pdf>.
- Hall, J. W., Sayers, P. B. y Dawson, R. J., 2005. National-scale Assessment of Current and Future Flood Risk in England and Wales. *Natural Hazards* 36: 147–164.
- Höppe, P. y Pielke Jr., R. A., 2006. Informe de resumen del taller. En el taller Climate Change and Disaster Losses: Understanding and Attributing Trends and Projections, Höppe, P. y Pielke, Jr. R. A. (eds.). Hohenkammer, Alemania, 4–12.
- Höppe, P.; Pielke Jr., R. A. (eds.), 2006. *Climate Change and Disaster Losses: Understanding and Attributing Trends and Projections*, Informe de un taller celebrado en Hohenkammer, Alemania entre 25 y el 26 de mayo de 2006 (Universidad de Colorado, Boulder y Munich Re, Munich, 2006); http://sciencepolicy.colorado.edu/sparc/research/projects/extreme_events/munich_workshop/.
- Huntington, T. G., 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology* 319: 83–95.
- IPCC, 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor M. y Miller H. L. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- IPCC, 2007b. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. y Hanson, C. E. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Kirkinen, J.; Martikainen, A.; Holttinen, H.; Savolainen, I.; Auvinen, O. y Syri, S., 2005. Impacts on the energy sector and adaptation of the electricity network business under a changing climate in Finland. *Mimeographs* 340. 36 págs. Instituto de Medio Ambiente de Finlandia, Helsinki. www.environment.fi/download.asp?contentid=45340&lan=en.
- Kovats, R.S. y Jendritzky, G., 2006. Heat waves and human health, en: *Climate Change and Adaptation Strategies for Humans Health* (eds. B. Menne y K.L. Ebi), Steinkopff, Darmstadt, Alemania.
- Kundzewicz, Z. W., 2005. Intense precipitation and high river flows in Europe — Observations and projections. *Acta Geophysica Polonica* 53: 385–400.
- Kundzewicz, Z. W.; Ulbrich, U.; Brücher, T.; Graczyk, D.; Krüger, A.; Leckebusch, G. C.; Menzel, L.; Pińskwar, I.; Radziejewski, M. y Szwed, M., 2005. Summer Floods in Central Europe — Climate Change Track? *Natural Hazards* 36: 165–189.
- LCCP, 2002. *London's Warming. London Climate Change Partnership A Climate Change Impacts in London Evaluation Study*. Final Report November 2002. Greater London Authority, Londres.
- Lehner, B.; Czisch, G. y Vassolo, S., 2001. Europe's hydropower potential today and in the future. En: Lehner, B.; Henrichs, T.; Döll, P. y Alcamo, J. (eds.). *EuroWasser — Model-based assessment of European water resources and hydrology in the face of global change*. Kassel World Water Series. Center for Environmental Systems Research, Universidad de Kassel. http://www.usf.uni-kassel.de/usf/archiv/dokumente/kwws/5/ew_8_hydropower.pdf.
- Lehner, B.; Czisch, G. y Vassolo, S., 2005. The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. *Energy Policy* 33: 839–855.
- López Zafra, J. M.; Sánchez de Tembleque, L. y Meneu, V., 2005: Impactos sobre el sector energético. Evaluación Preliminar de los Impactos en España for Efecto del Cambio Climático, J. M. Moreno, (ed.). Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: 617–652.
- Marttila, V.; Granholm, H.; Laanikari, J.; Yrjölä, T.; Aalto, A.; Heikinheimo, P.; Honkatukia, J.; Järvinen, H.; Liski, J.; Merivirta, R. y Paunio, M., 2005. Estrategia Nacional de Finlandia para la Adaptación al Cambio Climático. Series de publicaciones del Ministerio de Agricultura y Silvicultura de Finlandia, número 1a/2005. <http://www.mmm.fi/sopeutumisstrategia/>.
- Mills, E., 2005. Insurance in a Climate of Change. *Science* 309: 1040–1044.
- Mo, B.; Doorman, G. y Grinden, B., 2006. Climate Change — Consequences for the electricity system. Analysis of the Nord Pool system. Climate and Energy Report CE-5. 159 págs. Norden — Nordic Energy Research, Reikiavik. http://www.os.is/cefiles/energy/Report_CE5.pdf.
- Mudelsee, M.; Borngen, M.; Tetzlaff, G. y Grunewald, U., 2003. No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. *Nature* 425: 166–169.
- Muir Wood, R.; Miller, S. y Boissonnade, A., 2006. *The search for trends in a global catalogue of normalized weather-related catastrophe losses*. In Workshop on Climate Change and Disaster Losses — Understanding and Attributing Trends and Projections, P. Höppe y R. A. Pielke, Jr. (eds.). Hohenkammer, Alemania, 188–194.
- Munich Re, 2007. Naturkatastrophen in Europa, datos inéditos.
- Munich Re, 2008. Geo Risks Research, NatCatSERVICE. Comunicación personal enviada por P. Löw y A. Wirtz.
- OCDE, 2007. Autores. Nicholls, R.J.(1), Hanson, S., Herweijer, C., Patmore, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Chateau, J., y Muir-Wood, R. Screening Study: Ranking Port Cities With High Exposure And Vulnerability To Climate Extremes Interim Analysis: Exposure Estimates. ENV/EPOC/ GSP(2007)11.

- OCDE, 2008. Autores: Nicholls, R.J., Hanson, S., Herweijer, C., Patmore, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Chateau, J., y Muir-Wood, R., 'Screening Study: Ranking Port Cities With High Exposure And Vulnerability To Climate Extremes Interim Analysis: Exposure Estimates', ENV/EPOC/ GSP(2007)11.
- Pielke Jr., R. A., 2007. Future economic damage from tropical cyclones: sensitivities to societal and climate changes. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 365: 1–13.
- Pielke Jr., R. A. y Downton, M. W., 2000. Precipitation and Damaging Floods: Trends in the United States, 1932–97. *Journal of Climate* 13: 3625–3637.
- PNUMA FI, 2006. *Adaptation and vulnerability to climate change: the role of the finance sector*. Programa de las Naciones Unidas de Medio Ambiente – Iniciativa Financiera, Ginebra, Suiza. También disponible en http://www.unepfi.org/fileadmin/documents/CEO_briefing_adaptation_vulnerability_2006.pdf.
- Robine, J. M.; Cheung, S. L.; Le Roy, S.; Van Oyen, H. y Herrmann, F. R., 2007. The CANICULE-project: The excess mortality in summer 2003; Presentación. Bonn, Reunión de la OMS acerca de la mejora de las respuestas de la salud pública al calor extremo, 22.03.2007.
- Schär, C.; Vidale, P. L.; Lüthi, D.; Frei, C.; Häberli, C.; Liniger, M. A., y Appenzeller, C., 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427: 332–336.
- Stern, N., 2006. *The Economics of Climate Change*. Cabinet Office — HM Treasury. Cambridge University Press.
- Tol, R., S., 2002a. Estimates of the damage costs of climate change. Part II. Dynamic estimates. *Environmental and Resource Economics* 21 (2): 135–160.
- Tol, R., S., 2002b. Estimates of the damage costs of climate change. Part I. Benchmark estimates. *Environmental and Resource Economics* 21 (1): 47–73.
- UCTE, 1999. *Langfristige Entwicklung von Abflubreihen im UCPT-E-Raum*. Bericht der UG Wasserwirtschaft. 9 pp. Union for the Coordination of Transmission of Electricity, Viena.
- UE, 2006. Estrategia europea para una energía sostenible, competitiva y segura. Libro verde SEC (2006) 317. 20 págs. Comisión Europea, Bruselas. http://europa.eu/documents/comm/green_papers/pdf/com2006_105_es.pdf.
- Vajda, A., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H. y Jylhä, K., 2004. An estimate of the influence of climate change on heating energy demand on regions of Hungary, Romania and Finland. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* 108: 123–140.
- Veijalainen, N. y Vehviläinen, B., 2006. Climate change effects on dam safety in Finland. Conferencia Europea sobre Impactos del Cambio Climático en Fuentes de Energía Renovable. Serie sobre los efectos del cambio climático en la seguridad de las presas en Finlandia. http://verkefni.vatn.is/ce/files/Hydrological_models/noora_veijalainen.pdf.
- Watkins, P., 2006. *The Social Costs of Carbon (SCC) Review — Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment*, Final Report to Defra. Published January 2006. Paul Watkins con contribuciones de David Anthoff, Tom Downing, Cameron Hepburn, Chris Hope, Alistair Hunt, y Richard Tol. <http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/carboncost/aeat-scc.htm>.
- WL Delft Hydraulics, 2007. *Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat* (Riesgo de inundación en los Países Bajos por el cambio climático). Report Q4290.00, WL Delft Hydraulics Delft, Países Bajos.

Capítulo 8 Lagunas de información, incertidumbres y necesidades futuras

- Campbell-Lendrum, D. H.; Angulo, V. M.; Esteban, L.; Tarazona, Z.; Parra, G. J.; Restrepo, M.; Restrepo, B. N.; Guhl, F.; Pinto, N.; Aguilera, G.; Wilkinson, P. y Davies, C. R., 2007. House-level risk factors for triatomine infestation in Colombia. *International Journal of Epidemiology* 36(4): 866–872.
- Carter, T. y Fronzek, S., 2008. Producido para la AEMA por el Instituto Finés de Medio Ambiente (SYKE), basado en datos del proyecto PRUDENCE. <http://prudence.dmi.dk/index.html>.
- CE, 2004. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo; Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad (GMES): creación de una capacidad GMES para 2008 - (Plan de acción (2004-2008)) COM(2004)65 final <http://www.gmes.info/library/files/>.
- CE, 2005. *European Research on Climate Change Catalogue of FP6 Projects Volume 1*, Dirección de Medio Ambiente, http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/european_research_climate_change_en.pdf.
- CE, 2006a. *Global Change and Ecosystems Catalogue of projects funded during the Sixth Framework Programme*, Dirección de Medio Ambiente. http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/global_change_ecosystem.pdf.
- CE, 2006b. *European Research on Climate Change Catalogue of FP5 and FP6 Projects on Carbon Cycle and Green House Gases*, Dirección de Medio Ambiente, http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/catalogue_fp5fp6_carbon.pdf.
- CE, 2006c. *International Symposium Climate Change Research Challenges*, Dirección de Medio Ambiente, http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/climate_research_chall.pdf.
- CE, 2007a. *European research on Polar Environment and Climate Results and information from FP5 and FP6 projects*, Dirección de Medio Ambiente, http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/polar_catalogue_final.pdf.
- CE, 2007b. *Polar Environment and Climate The challenges, International Symposium, European research in the context*

of the International Polar Year, Dirección de Medio Ambiente, http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/polar_env_and_climate_proceedings.pdf.

Confalonieri, U.; Menne, B.; Akhtar, R. et al., 2007. Human Health. En: Parry, M. L. et al. (eds.). *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, EE. UU. Cambridge University Press.

GCOS, 2003. *The second report on the adequacy of global observing systems for climate in support of the UNFCCC*. Report nº GCOS-82.

GEOSS, 2005. *The Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) 10-Year Implementation Plan*. <http://www.earthobservations.org/docs/>.

IPCC, 2001. *Cambio climático 2001: la base científica. Contribución del Grupo de trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Houghton, J. T. et al. (eds), Cambridge University Press, Reino Unido.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor M. y Miller H. L. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

McMichael, A. J.; Campbell-Lendrum, D.; Kovats, S. et al., 2007. Climate Change. En: Ezzati, M.; Lopez, A.D.; Rodgers, A.; Mathers, C. (eds.). *Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease due to selected major risk factors*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2004: 1543–649.

Nakićenović, N., y Swart, R. (eds.), 2000. *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, EE. UU., 599 págs.

Ruosteenoja, K.; Carter, T. R.; Jylhä, K. y Tuomenvirta, H., 2003. Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios. *The Finnish Environment* 644, Instituto Finés de Medio Ambiente, Helsinki, 83 págs.

Glosario

IPCC, 1992. *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Houghton, J. T.; Callander, B. A. y Varney, S. K. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, EE. UU., 116 págs.

IPCC, 1996. *Cambio Climático 1995: La Ciencia del Cambio Climático. Contribución del Grupo de Trabajo I al segundo informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, Houghton, J. T. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, EE. UU., 572 págs.

IPCC, 2001. *Cambio climático 2001: la base científica. Contribución del Grupo de trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Houghton, J. T. et al. (eds), Cambridge University Press, Reino Unido, Reino Unido y Nueva York, Nueva York, EE. UU., 881 págs.

Nakićenović, N., y R. Swart (eds.), 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*. Informe especial del Grupo de trabajo III del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.



ISBN 978-84-491-1125-9



9 788449 111259



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO